



GSLP - dispense di tutto il corso dell'anno 2022/23

Gestione dei sistemi logistici e produttivi (Politecnico di Milano)



Scansiona per aprire su Studocu

INTRODUZIONE AI SISTEMI DI PRODUZIONE

Si definisce *supply chain* l'insieme di relazioni che collega Produttore a Fornitore a Distributore a Cliente finale. Ci sono due flussi in questa relazione, uno *fisico*, il flusso dei prodotti che va da Produttore a Cliente finale e uno *informativo*, il flusso d'informazioni per capire e studiare come comportarsi in base alla richiesta di mercato che va da Cliente finale a Produttore.

COS'È UN SISTEMA DI PRODUZIONE?

Un sistema di produzione è l'insieme di uomini, macchine, attrezzature e altri sottosistemi aziendali aventi come obiettivo la trasformazione dei materiali e componenti in ingresso in beni e servizi in uscita a "maggiore valore" e "vendibili".

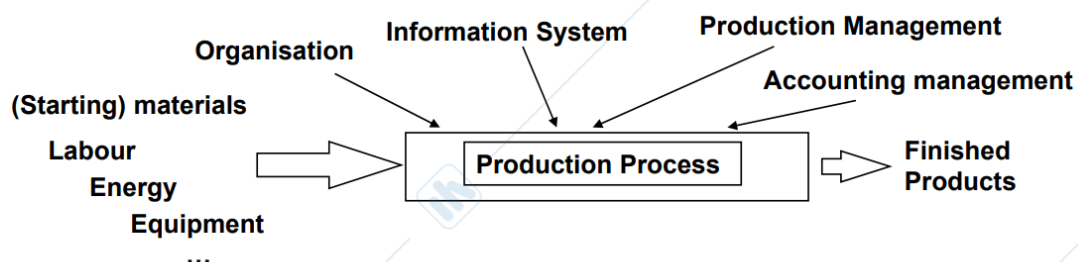
CHE COS'È UN PROCESSO DI PRODUZIONE?

Dando una definizione più generale, un *processo di produzione* è una trasformazione dove abbiamo una serie di risorse in input che sono convertite in beni e servizi in output. Il processo di conversione può essere fisico, chimico, di trasporto, di scambio, di stoccaggio, d'informazioni o fisiologico.

Importante è definire i fattori produttivi che la trasformazione riceve in input ovvero:

- Il lavoro eseguito dalla manodopera
- I materiali, materie prime, semilavorati e componenti
- I macchinari e le attrezzature come pallet e meccanismi di trasporto interno
- L'energia
- Il capitale

Altrettanto importanti nel corretto funzionamento di un sistema di produzione sono il *sistema informativo* (raccogliere e distribuire informazioni), il *sistema di amministrazione e controllo di gestione* (procedure valutazione costo prodotti e fattori produttivi), *sistema organizzativo*, *sistema logistico esterno*, *sistema logistico interno* e *sistema di pianificazione e controllo della produzione* (controllo e analisi delle prestazioni e del funzionamento del processo produttivo).

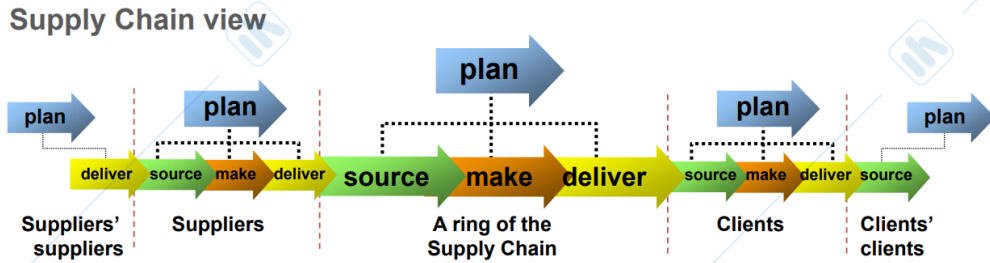


LA PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA DI PRODUZIONE

Il Sistema di Produzione è strutturato in modo studiato e ben preciso a seconda di quelle che sono le nostre esigenze di produzione e dei macchinari che abbiamo a disposizione. Per valutare quindi come disporre (la disposizione è detta LAYOUT, modo in cui macchine e impianti vengono distribuite nello spazio) le *Workstation* (serie di macchine/operatori che fanno la stessa operazione per la stessa serie di prodotti) potremmo basarci sullo studio di alcuni parametri di produzione tra cui:

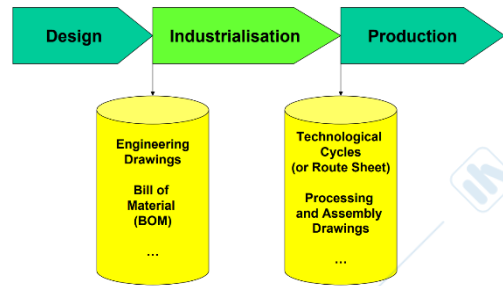
- velocità di produzione (Throughput rate...)
- tempo impiegato (Lead and Cycle time...)
- quantità di scorte(WIP...)

Da ciò deriva lo schema che sta alla base della Supply Chain:



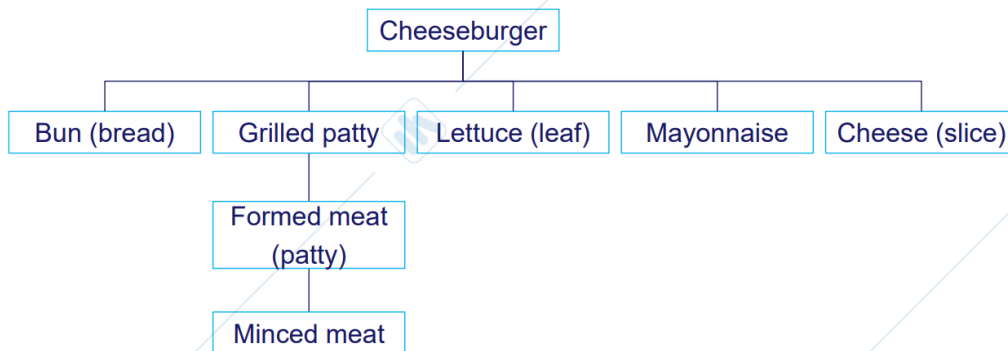
Per capire come sono strutturate le operazioni di business, che sequenza di operazioni è richiesta per produrre beni e servizi possiamo riprodurre il processo di produzione in rappresentazioni. Alcuni esempi di tipi di rappresentazione di processo sono:

- Layout diagrams
- Flow diagrams
- Technological cycle
- Production graph
- Bill of materials (BOM)
- Processing and assembly drawings



LA BILL OF MATERIAL (BOM)

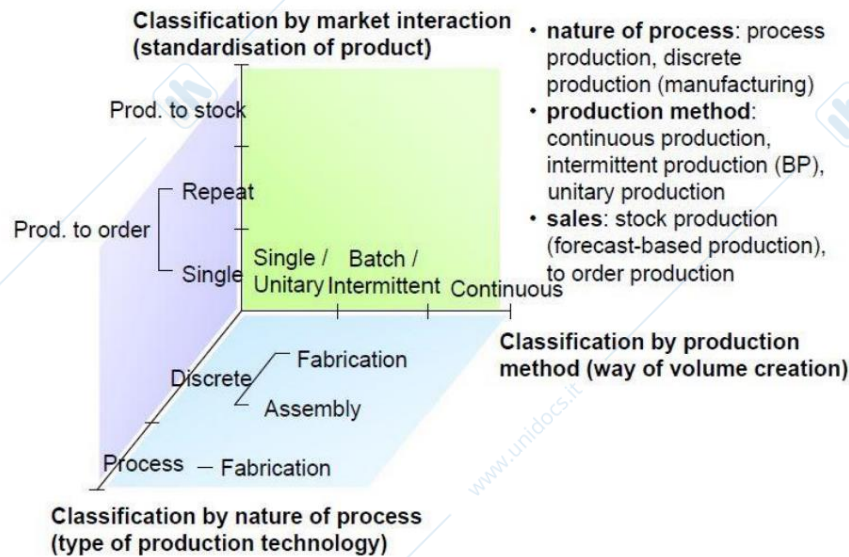
Cosa devo utilizzare per arrivare ad un prodotto finito? La Bill of Material, anche detta Distinta Base, è la lista di tutte le materie prime, parti e componenti necessari alla produzione di un'unità di prodotto. Viene solitamente visualizzata graficamente mediante l'impiego di una struttura ad albero rovesciato in cui il nodo radice rappresenta il prodotto finito.



Altra rappresentazione è quella della struttura scalare dove ogni riga rappresenta un nodo dell'albero e il livello di appartenenza è rappresentato da una rientranza.

IL DIAGRAMMA di WORTMANN

Volendo ora classificare i sistemi di produzione esiste un grafico a 3 assi che li classifica *per natura del processo produttivo*.



Asse 1: Natura del processo produttivo

- **PRODUZIONI PER PROCESSO:** tipicamente fabbricazioni, tendenzialmente irreversibili, molto automatizzate (es. cemento, zucchero, caffè...)
- **PRODUZIONE DISCRETA/MANUFATTURIERA:** produzione di progetti countable; può essere sia di fabbricazione che di assemblaggio che entrambi, alte scorte, risorse umane molto presenti, sistema flessibile

Asse 2: Metodo di produzione

- Modo di realizzare il volume produttivo (ovviamente di tipo industriale e non artigianale)
- Per unità singole, un pezzo alla volta
- A lotti di produzione (batch = lotto)
- A produzione continua

Asse 3: Classificazione in base all'interazione con il mercato

- asse più importante, classifica in base alla modalità di risposta alla domanda
- avrà due tipologie:
 - **PRODUCTION TO STOCK:** produzione al fine di stoccaggio
 - **PRODUCTION TO ORDER:** produzione di un bene customizzato

Definiamo quindi:

MakeToStock (MTS)

EngineeringToOrder (ETO): la produzione su commissione di un prodotto che ancora non esiste, bisogna studiarlo e progettarlo

ParcelsToOrder (PTO): realizzare in modo customizzato comprando anche le materie prime

AssemblyToOrder (ATO): assemblare in modo customizzato materie prime già disponibili

MakeToOrder (MTO): realizzare in modo customizzato a partire dalle materie prime

Come faccio a distinguerli? Differenza tra Delivery Lead Time e Manufactory Lead Time:

Manufactory Lead Time (MLT): tempo di produzione a partire dalle materie prime

Delivery Lead Time (DLT): Tempo di consegna

- Quando il DLT è molto minore del MLT: Make to Stock (avrò sicuramente bisogno dei WIP)

LA MATRICE DI HAYES WHEELRIGHT

Importante ruolo in questo ambito ha la matrice prodotto-processo o MATRICE DI HAYES, WHEELRIGHT. L'obiettivo di questa matrice è quello di ricondurre a un unico schema cinque caratteristiche peculiari dei sistemi produttivi:

1. mix e volumi di vendita
2. flussi produttivi nei termini di linearità e produttività all'interno della fabbrica
3. linee guida di strategia produttiva
4. compiti critici manageriali, ovvero le decisioni che assorbono la maggior parte del tempo dei manager delle funzioni tecniche
5. le tipologie impiantistiche di sistema produttivo

<i>Production process typology</i>	<i>Product Mix</i>				<i>Critical Management Tasks</i>
	Single unit	Low volumes High variety	High volumes Low variety	Very high volumes (commodity)	
Fragmentary Flow	Batch Flow in departments				Scheduling Delivery reliability
Discontinuous Flow					Bottlenecks elimination
Flow depends on - labor - Line pace	Flow in Line				Labour Motivation Balancing Flexibility
Continuous Rigid automated Flow	Continuous Flow				Investments Innovation Technology Integration
	On time delivery Differentiation	Quality Elasticity	Price		
	<i>Critical Factors</i>				

La rappresentazione è costruita analizzando inizialmente le caratteristiche dei prodotti processati, in termini di mix di volumi con le specificità dei flussi produttivi idonei alla loro trasformazione.

ASSE 1

- flusso frammentario:

- flusso discontinuo: flusso frammentario ma con una certa regolarità
- flusso in funzione del ritmo: posso modificare la velocità del sistema produttivo
- flusso automatico/rigido

ASSE 2

DIAGONALE

- ☐ conviene un flusso a lotti per reparto -> JOB SHOP
- ☐ conviene un flusso in linea (prima A, poi B, poi C)
- ☐ conviene un flusso discontinuo

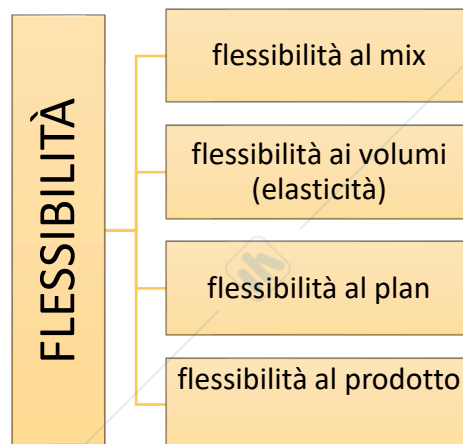
ASSE 3

1. Qualità



2. **Elasticità** (flessibilità ai volumi) = capacità di soddisfare volumi variabili senza significative variazioni di costo/prezzo

N.B:



ASSE 4

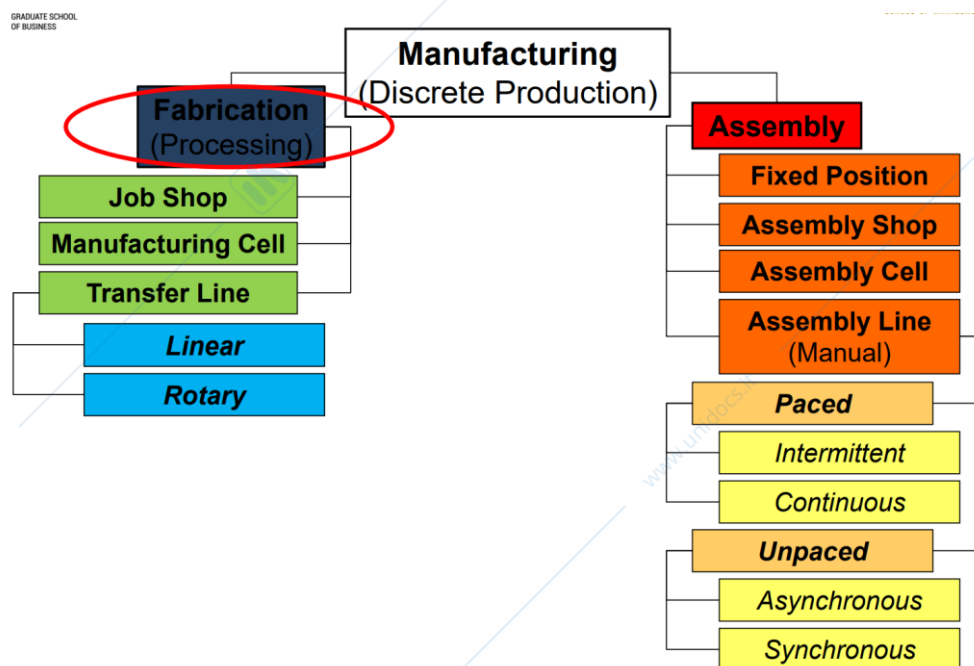
- Scheduling = programmazione della produzione in breve tempo
- Delivery = consegna

Reliability = affidabilità

- Bottleneck (collo di bottiglia) = creazione di coda dove è presente la workstation con la minor capacità produttiva
- Motivazione, Manodopera, Bilanciamento, Flessibilità
- Investimento = passaggio molto critico, Innovazione, Integrazione, Tecnologia

CLASSIFICAZIONE DELLA PRODUZIONE MANUFATTURIERA

Riassumendo ciò che è stato detto precedentemente, abbiamo diverse tipologie di sistemi di fabbricazione ed assemblaggio. L'assemblaggio consiste in una serie di operazioni di composizione di parti mediante inserzioni, unione, ecc. che permette l'ottenimento di prodotti di insieme. Nella fabbricazione invece, un componente grezzo in ingresso viene trasformato in un componente finito. Con questo semplice schema possiamo riassumere le tipologie di sistemi di fabbricazione e assemblaggio:



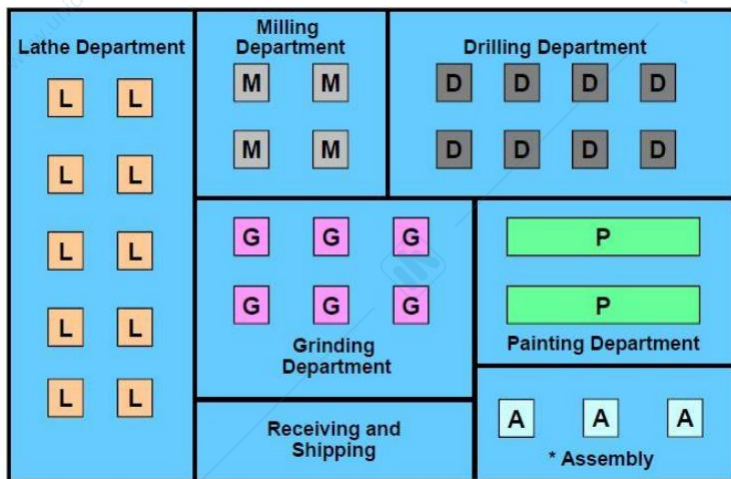
LA FABBRICAZIONE

Analizziamo i modi di organizzare il flusso produttivo:

JOB SHOP

Sistema produttivo organizzato in reparti capace di processare diverse tipologie di prodotti con differenti tipi di macchine.

Avremo macchine che fanno la stessa lavorazione che nel layout stanno vicine tra loro. I macchinari sono aggregati in SHOPS in funzione della *natura della tecnica usata e delle capacità coinvolte* (TECNOLOGICAL AFFINITY). Non è ovviamente necessario che i macchinari di uno stesso shop siano identici tra loro, è invece necessario che abbiano similarità tecnologica.



Ogni prodotto avrà il suo ciclo tecnologico che definisce il percorso che compie attraverso i diversi macchinari.

Ovviamente non è necessario che un job sia processato da ogni particolare macchinario dello shop -> **molta flessibilità** (motivo per cui è molto usato)

CARATTERISTICHE

- La produzione si focalizza su molti prodotti con bassi volumi
- Attrezzature specializzate nel material handling
- Gli operatori tendono a lavorare in un solo reparto, sono fortemente specializzati

Pro e contro

- Alta flessibilità
- Ci sono svariati cicli alternativi
- Possibilità di produrre moltissimi mix di produzione differenti
- Difficoltà a tenere il processo produttivo sotto stretto controllo
- I flussi di produzione si incrociano spesso
- I prodotti passano molto tempo in coda o ad aspettare -> molti wip
- Bisogno di molto spazio per immagazzinamento (buffer= magazzino che contiene wip, warehouse = magazzino dove le merci sono ospitate a lungo, transit-points = magazzino dove le merci sono ospitate per breve periodo)

Tendenzialmente utilizzeremo il Job Shop quando:

- abbiamo un'ampia varietà di prodotti da processare
- per ogni prodotto il volume è tendenzialmente basso rispetto al volume totale
- sono molto interessati a mantenermi flessibile ai volumi, al mix, flessibilità d'ordine (emissione ordine, non + modificabile, data consegna)

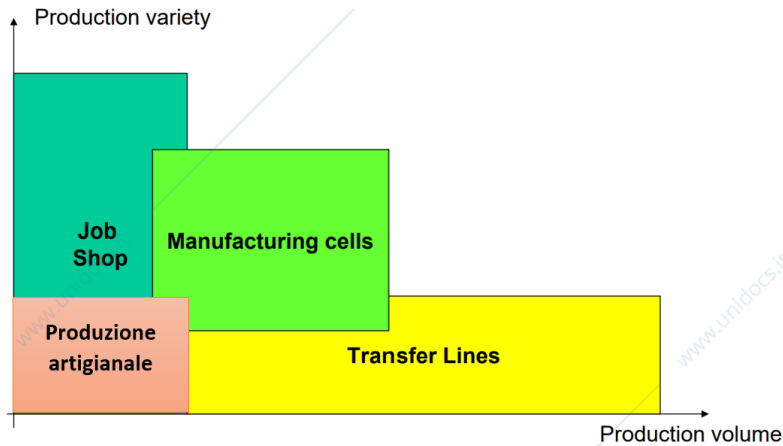
MANUFACTURING CELL

Sono un gruppo di macchine (celle) di diverso tipo che realizzano completamente una gamma di prodotti o parti di prodotti simili. La Manufacturing Cell cerca di superare alcuni problemi tipici del Job Shop mediante l'applicazione di alcuni principi della Group Technology, filosofia progettuale utile per risolvere problemi di progettazione e programmazione di sistemi produttivi.

TRANSFER LINE

La LINEA DI ASSEMBLAGGIO è costituita da macchinari e stazioni disposte in sequenza (secondo il ciclo di lavorazione del prodotto) con flusso di produzione lineare e uguale per tutti i prodotti.

SUM UP



L'ASSEMBLAGGIO

Dal punto di vista della tecnologia applicata, nel reparto di assemblaggio vengono assemblati componenti al fine di formare gruppi, sottogruppi e prodotti finiti. Queste operazioni potranno essere sia reversibili che irreversibili.

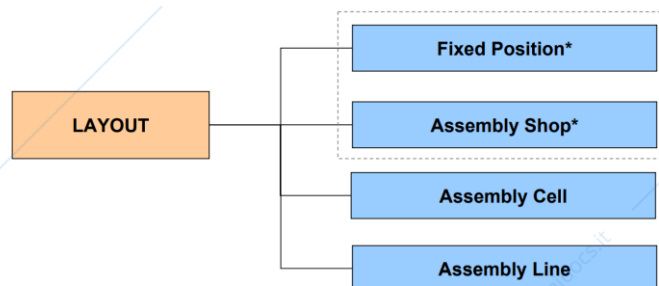
La produzione ha svariati gradi di libertà e il process flow è sintetico. Nel processo è altresì importante la rilevanza di parametri quali WIP, sincronizzazione tra stazioni, lead time e ritardi.

Il costo è sostanzialmente nella *manodopera* in quanto il lavoro è principalmente manuale e solitamente non sono richieste specifiche attrezzature. Il sistema di assemblaggio è composto da stazioni di lavoro e sistemi di mobilitazione dei pezzi e dei WIP.

Nell'assemblaggio ci sono quattro differenti assi di classificazione:

➤ LAYOUT CONFIGURATION

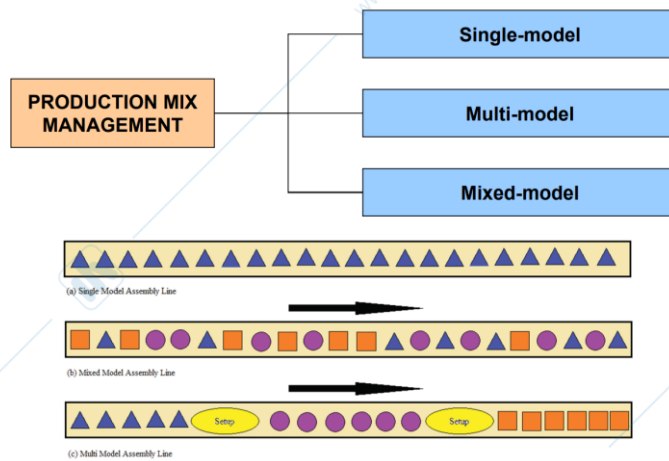
Diviso a sua volta in posizione fissa, assembly shop, assembly cell ed assembly line.



1. POSIZIONI FISSE: hanno la caratteristica che il prodotto che dovrà essere assemblato è fisso in una posizione. È conveniente questo tipo di procedimento per oggetti grossi e pesanti (aerei navi), con un'alta qualità necessaria.
2. L'ASSEMBLY SHOP (spesso chiamato anche Job Shop): Il prodotto assemblato è diviso in fasi; ci sono più workstation parallele che realizzano lo stesso prodotto. Potremmo definirlo simile al Job Shop.
3. ASSEMBLY CELL
4. ASSEMBLY LINE (Solo slide 131, 132, 134, fino a Continuous line)

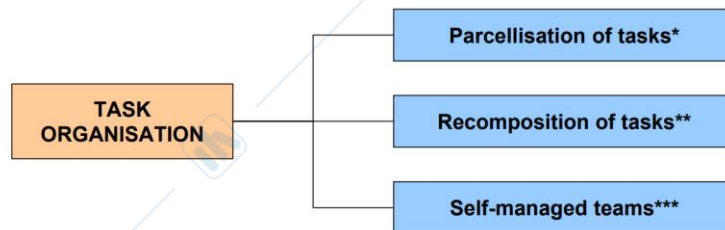
➤ **PRODUCT MIX MANAGEMENT**

Diviso in produzione singola, produzione di alti volumi con poca varietà e produzione varia.



➤ **TASK ORGANIZATION**

Divisa in tasks frazionate, task complesse e squadre semi autonome. Le squadre semi autonome sono gruppi di dipendenti a cui è assegnata gran parte dell'assemblaggio.



(*)
Fractionation, fragmentation
Fractionated, fragmented task

(**)
Complex task

(***)
Semi-autonomous work groups
Self-directed teams
Self-managing teams

Ogni gruppo lavora in parallelo e indipendentemente, si lavora in sequenza. I pro sono la facilità di gestire le assenze, la varietà delle attività, la facilità di assemblare molti pezzi insieme, la possibile riduzione dei lead time e l'incremento della qualità. I contro il grande spazio occupato, la difficoltà di gestione dei WIP, i maggiori costi e la difficoltà nel trainare le operazioni.

➤ **RECIPROCAL MOVEMENT OF ASSEMBLY, OPERATOR AND COMPONENTS**

+ parentesi slide da 67 a 72 e da 81 a 84

LA MISURAZIONE DELLA PERFORMANCE

Gli obiettivi della misura delle prestazioni sono molteplici:

- *Progettare un sistema con una prestazione efficace*
- *Prendere la giusta scelta* tenendo sotto controllo i segnali di pericolo, lo stato della compagnia, le variabili ambientali e le richieste del cliente e migliorare la qualità del prodotto finito.
- *Imparare* a capire cosa è sbagliato è necessario per comprendere cosa bisogna fare.
- *Motivare* condividendo i risultati ottenuti, misurando i risultati dei dipendenti e incentivandoli.

Per la misura utilizzerò un KPI o Key Performance Indicator, una serie di indicatori quantitativi che misurano i risultati aziendali. È importante ricordare che non riusciremo mai a migliorare una cosa che non possiamo misurare.

Altresì è importante effettuare una segnata distinzione tra **prestazioni** (il risultato della logistica e del processo produttivo) e **condizioni operative** (il contesto in cui sono ottenuti dei determinati risultati).

Altra importante distinzione da fare è quella tra:

- **efficacia -> cogliere l'obiettivo:** prestazioni esterne al sistema produttivo, cioè misurabili direttamente dal cliente e volte ad apprezzare il grado con cui di soddisfazione del cliente viene conseguito.
- **efficienza -> risultato in funzione delle risorse:** Prestazioni interne al sistema produttivo, di interesse della sola azienda si concretizzano nell'efficienza dei fattori produttivi e sono determinate dalle condizioni di funzionamento del sistema di produzione (capacità produttiva macchinari, affidabilità risorse, ecc)



Il sistema di misurazione delle performance richiede caratteristiche statiche:

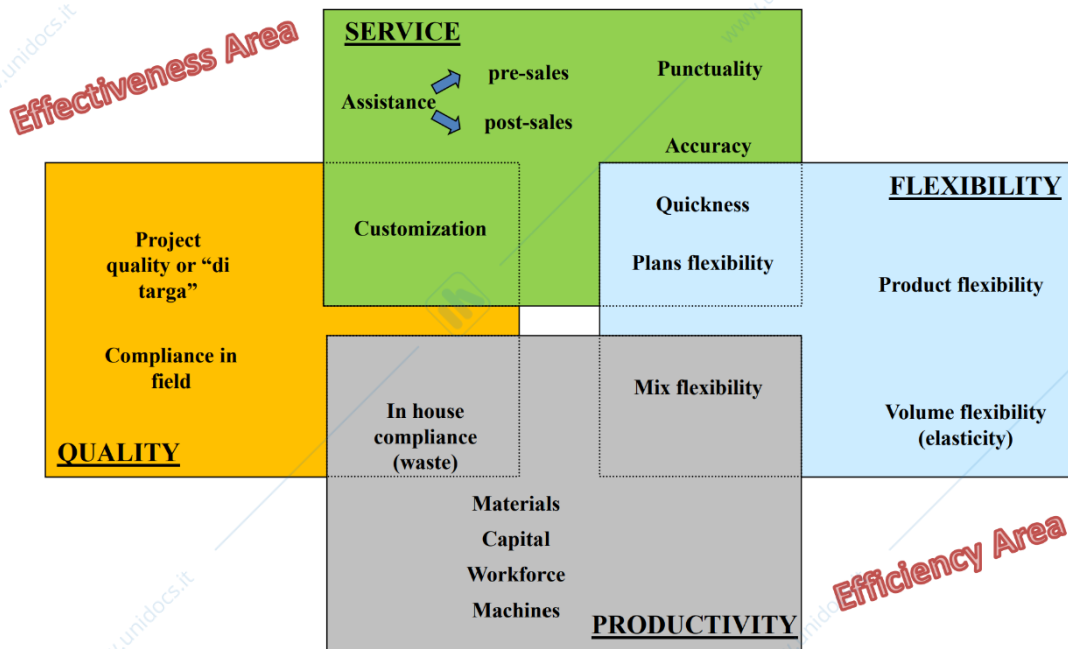
- Puntualità
- Completezza
- Orientamento a lungo periodo
- Focalizzazione su specifiche responsabilità
- Precisione
- Misurabilità

E dinamiche:

- manutenibilità
- economicità

LA STRUTTURA

Più che le *dimensioni della performance* è fondamentale misurare le *componenti* (o *determinanti*):



LE CONDIZIONI OPERATIVE

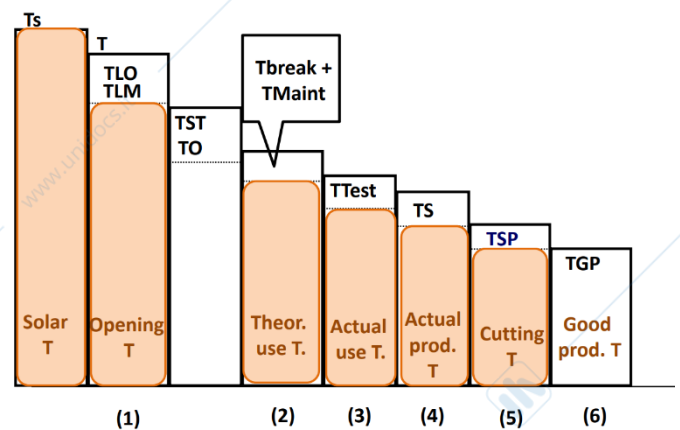
IL QUADRO DI RIFERIMENTO

Condizioni operative = stati del sistema operativo o del macchinario

È importante definire indicatori quantitativi idonei alla misurazione delle condizioni operative e definire gli stati in cui un impianto produttivo può trovarsi.

Fissiamo:

- **T** opening time (potentially productive)
- **TGP** good quality parts production time
- **TSP** scrap parts production time
- **TS** set-up time
- **TTest** tests time
- **Tbreak** idle time due to breakdown
- **Tmaint** idle time due to maintenance
- **TLO** idle time due to lack of orders
- **TLM** idle time due to lack of materials
- **TST** strikes
- **TO** idle time due to organizational causes



DISPONIBILITA'

La disponibilità (availability) misura l'impatto dei guasti o della misurazione correttiva (= che si fa dopo il guasto)

In termini di causali avremo:

$$A = \frac{T - TLO - TLM - TST - TO - Tbreak - Tmaint}{T - TLO - TLM - TST - TO}$$

POTENZIALITA' PRODUTTIVA

La potenzialità produttiva è uno dei concetti base per l'analisi di un'azienda manifatturiera in quanto a questo concetto si legano alcuni quesiti importanti (margini incremento volumi? Differenti scenari di volumi e mix? Picco di domanda gestibile?). Tutto ciò è inoltre alla base delle misure di produttività (efficienza nell'utilizzo di fattori produttivi).

Definiamo quindi:

- **La potenzialità di targa (PT)**, chiamata anche nominale -> corrisponde al numero massimo di unità producibili sulla base di quanto dichiarato dal costruttore e determinato in fase di collaudo. È quindi una potenzialità stabilita in condizioni IDEALI sotto ogni punto di vista.
- **La potenzialità teorica (Pt)**, è la potenzialità ragionevolmente sostenibile nel medio termine. Si indica con:

$$Pt = PT \cdot A \text{ [u/h]}$$

Nel caso di produzioni che non siano monoprodotto bisognerà valutare la *potenzialità di mix* data da:

$$P_{mix} = \frac{\text{Quantità totale prodotta}}{\text{Ore necessarie per produrre il mix assegnato}}$$

Si può altresì calcolare partendo dall'NP, cioè dal numero di unità producibili in un periodo in cui l'impianto è sempre stato in produzione. Otterremo:

$$P_{mix} = \frac{\sum (SR_k/SR_i) \times (GP_i + SP_i)}{\sum (TGP_i + TSP_i) + TS}$$

- QGP = quantity of good quality parts
- QSP = quantity of scrap parts
- TGP = time spent in producing good quality parts
- TSP = time spent in producing scrap parts
- TS = total setup time
- SR_i = standard production rate of product i
- \overline{TS} = total standard setup time

LA CAPACITA' PRODUTTIVA

La capacità produttiva è una grandezza che si può porre in relazione con la potenzialità valutando come la potenzialità sia una misura di flusso [unità/tempo] mentre la capacità sia una misura di volume. La capacità fornisce supporto al management per le scelte di medio/lungo periodo.

$$APC = P_{mix} * A * (T - T_{test} - T_{St} - T_{Lo})$$

LA PRODUTTIVITA' DELLE RISORSE PRODUTTIVE

La produttività, pur essendo una prestazione interna e quindi non di diretto interesse del cliente costituisce una misura di prestazione fondamentale in quanto consente al management di verificare l'efficienza con cui vengono impiegati i diversi input. (dimensionamento capacità produttiva)

Abbiamo tre tipi di produttività, oltre alla produttività fondamentale che calcoleremo come:

$$Prod = Output/Input$$

Essi sono:

- Produttività manodopera = *Volume Prodotto/Numero Lavoratori*
- Produttività macchinari = *Volume Prodotto/Capacità produttiva installata*
- Produttività materiali = *Volume Prodotto/Materiali impiegati*

LE MISURE DELLA PRODUTTIVITA'

L'analisi della produttività consiste nello scomporre le misure in:

➤ Utilizzo (U):

• Machine use

$$USE(U) = \frac{ACTUAL\ PRODUCTION\ TIME}{OPENING\ TIME}$$

$$U = \frac{T - TLO - TLM - TST - TO - TBreak - TMaint - TTest}{T}$$

OR (alternative form):

$$U = \frac{TGP + TSP + TS}{T}$$

• Workforce use

$$USE(U) = \frac{ACTUAL\ PRODUCTION\ TIME}{PAID\ HOURS}$$

$$U = \frac{T - TLO - TLM - TST - TO - TBreak - TMaint - TTest}{T}$$

OR (alternative form):

$$U = \frac{TGP + TSP + TS}{T}$$

➤ Efficienza/rendimento (η): si riferisce al rapporto tra la produzione effettivamente rilevata e versata a magazzino e le ore effettive di produzione. Si indica con:

$$\eta = \frac{Actual\ Production\ in\ std.\ hours}{ACTUAL\ PRODUCTION\ HOURS}$$

$$\eta = \frac{\sum TGP_i}{\sum [(TGP_i + TSP_i) + TS]}$$

The concept of standard time is fundamental

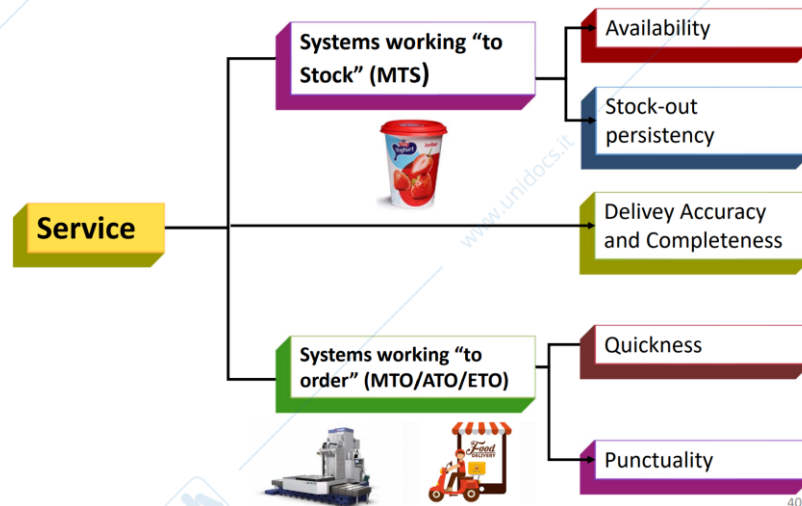
Da questa equazione arriviamo facilmente a definire la:

$$Produttività = U \cdot \eta$$

Definiamo invece resa dei materiali il rapporto tra volumi ottenuti e materiali consumati. Il rapporto tra volumi ottenuti e consumi teorici dà invece indicazione degli sfridi (viene consumato più materiale rispetto a quanto previsto dagli standard). Il rapporto tra consumi teorici ed effettivi dà invece indicazione degli scarti.

MISURAZIONE DELLE PRESTAZIONI DEL SERVIZIO

Le prestazioni di servizio sono di estrema importanza nel contesto di aziende produttive poiché tra le prestazioni esterne esse sono quelle più facilmente modificabili agendo sulle sole leve gestionali. Esse possono differenziarsi a seconda del fatto che un'azienda operi per commessa o a magazzino. Nel primo caso le prestazioni più rilevanti sono *prontezza e puntualità della consegna* mentre nel secondo caso abbiamo disponibilità dei beni e persistenza dello *stock out*. Infine, *accuratezza e completezza* valide per ambi i contesti.



Prontezza e puntualità

Sono di estrema importanza nelle aziende che lavorano per commessa dove l'ordine del cliente avvia la fase di progettazione, acquisizione, produzione e assemblaggio. La prima misura il tempo che intercorre tra l'accettazione dell'ordine e la sua consegna effettiva (velocità di risposta)(es. lead time medio complessivo e di produzione), la seconda indica invece lo scostamento tra date pianificate e date effettive di consegna (capacità di rispettare gli impegni)(es. percentuale ordini on time, ritardo e anticipo medio, variazione del battente di arretrati).

Stock out

Per le realtà che operano a magazzino, la misura del servizio si realizza grazie agli indicatori di disponibilità dei beni e persistenza dello stock out. (es. disponibilità, percentuale di stock out, prontezza recupero). In caso di stock out il cliente si potrà comportare in diversi modi:

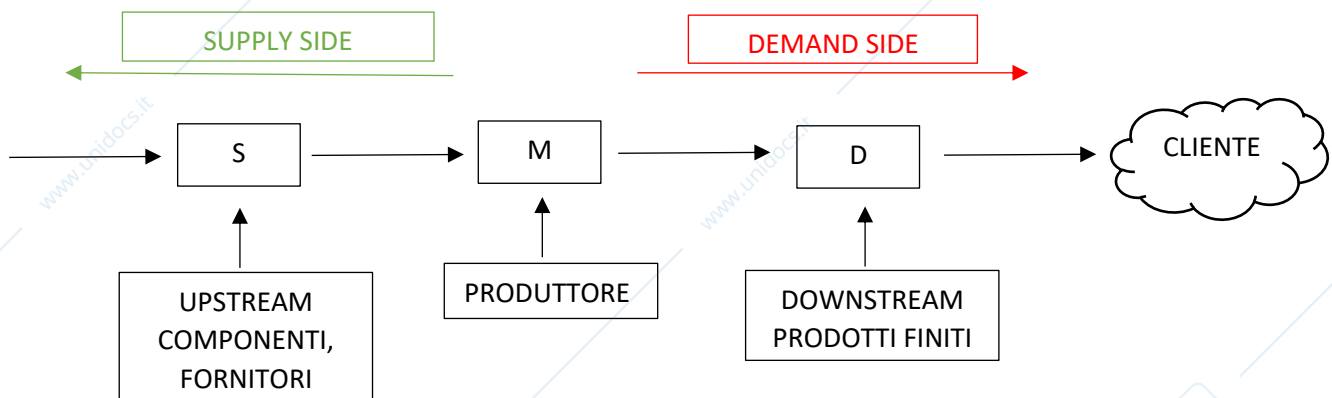
1. STORE LOYAL: il cliente che è interessato esclusivamente a soddisfare un'esigenza e quindi va a cercare il prodotto da un'altra parte
2. BRAND LOYAL: il cliente sopporta il costo dello stock out, cioè non cerca il prodotto da un'altra parte ma attende
3. STOCK OUT SULLA FILIERA: il cliente decide di non acquistare il prodotto in funzione di un prodotto di genere completamente diverso

Un'altra possibilità è quella di Stock out + Overstock

Accuratezza e completezza

La prima misura quanto accuratamente viene allestito l'ordine nell'ipotesi in cui gli articoli siano presenti a magazzino. Si monitora il numero di errori riscontrati nell'allestimento della spedizione. Sono indicatori utili perché danno luce a quanto delle misure prese nel tempo stiano ripagando l'investimento speso. La seconda è il livello di servizio percepito dai clienti. Entrambe possono avere sia indicatori fisici (n° errori, n° ordini compiuti...) che economici (costo di penalità, ...).

La supply chain



In ogni supply chain ci sono tre flussi:

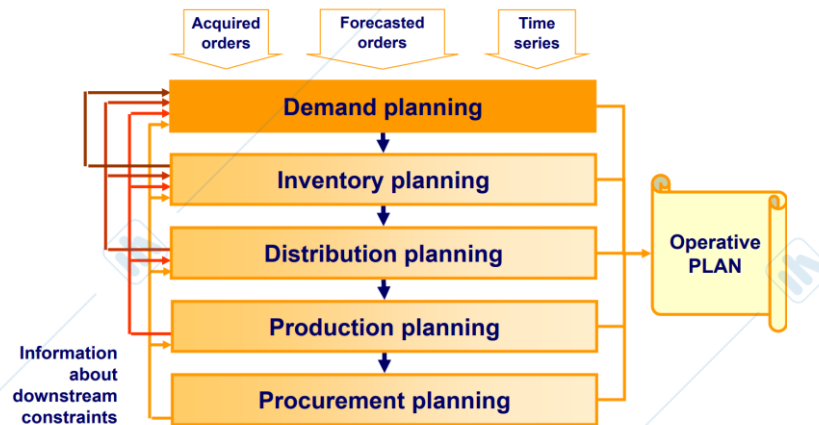
1. **Logistico/esecutivo/fisico**: flusso di esecuzione del prodotto (dalle materie prime al prodotto finito)
2. **Informativo/di pianificazione**: come e che cosa muove il flusso fisico (va sempre nella direzione opposta al flusso fisico della Supply Chain)
3. **Finanziario**: flusso di cassa, denaro

LA PIANIFICAZIONE DELLA DOMANDA

Ricollegandoci al discorso fatto inizialmente, la previsione della domanda è direttamente collegata al flusso informativo. Si cerca infatti nel campo del *demand forecasting* di modellizzare la domanda al fine di ottenere un'ottima previsione.

Il piano di previsione è il punto di riferimento per molte funzioni aziendali poiché rappresenta il volume di vendite pianificato da realizzare nel futuro al fine di fornire adeguato servizio ai clienti e ottenere adeguati margini di profitto. Nell'analisi della domanda vedremo la distinta base diversamente, ci occuperemo di come il prodotto finito si scompone nelle sue varianti, fino ad arrivare al livello di definizione massimo.

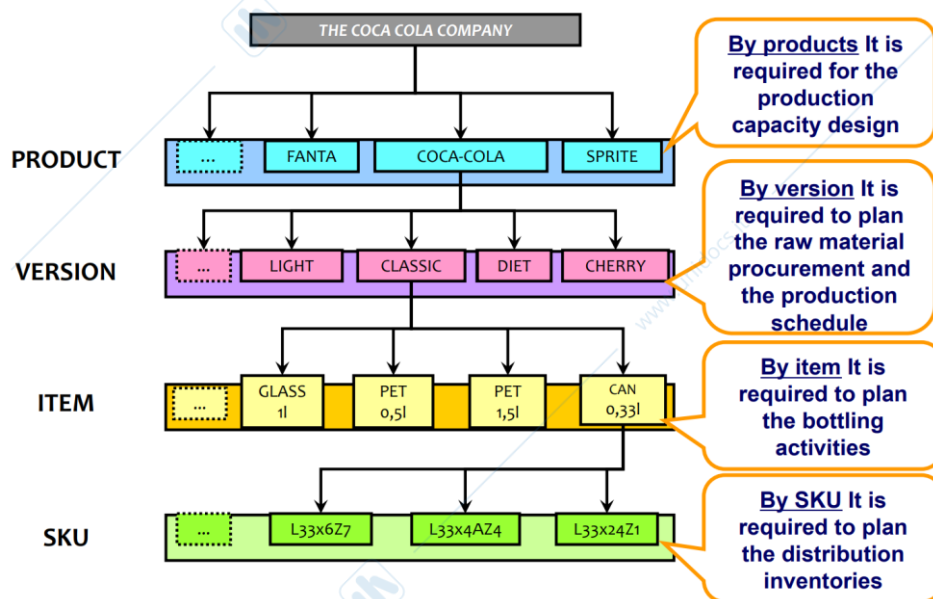
N.B: domanda ≠ vendite



In **input** avrò gli ordini ricevuti, i dati sulla domanda passata, le esperienze di mercato, i trend dell'industria in **output** dovrò elaborare un piano di domanda a un determinato livello di accuratezza.

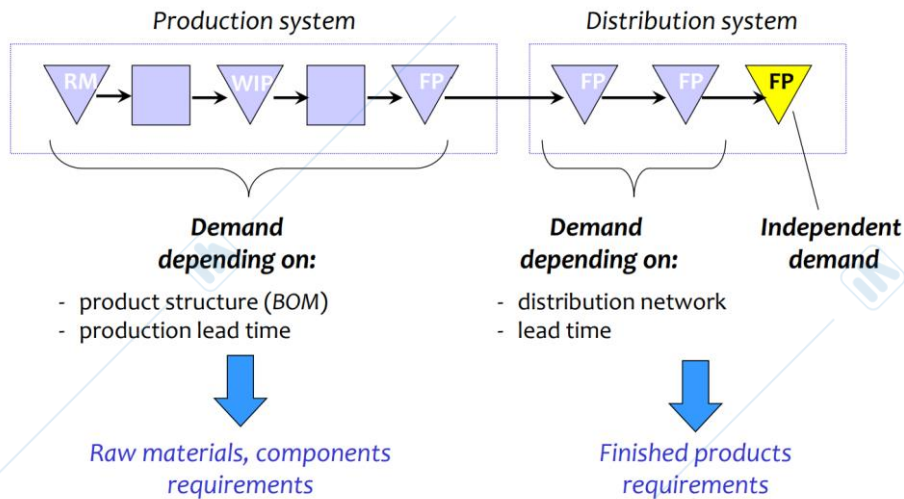
Family Bill

La *Family Bill* è una rappresentazione dettagliata ad albero che ci dice quali tipologie di prodotti si trovano in una certa gamma. La Family Bill è molto utile perché, attraverso i coefficienti di popolarità (mi dicono su base storica come si è distribuito il venduto; la loro somma su ogni ramo è pari a 1), riesce a tradurre una produzione aggregata in produzione dettagliata.



Questa semplice suddivisione mi fa vedere la distinta base che uso normalmente per capire la composizione di un prodotto prima di iniziare il processo di fabbricazione, come uno strumento utile a suddividere le unità prodotte in base ai loro SKU, scadenze, edizioni speciali (Natale, Pasqua ecc). Così sarà molto più facile prevedere nell'aggregato piuttosto che nel particolare: infatti tanto più una previsione sarà grossolana, quanto più sarà facile da fare.

Importante sarà anche il fatto che i miei piani avranno una relazione di dipendenza con sistema di produzione e distribuzione.



Le principali metodologie di forecasting

Ma quali sono le principali categorie di modelli per la previsione della domanda? I più utilizzati sono:

“TIME SERIES” APPROACHES	<ul style="list-style-type: none"> - MOVING AVERAGE (<i>simple, weighted,..</i>) - EXPONENTIAL SMOOTHING (<i>Winters...</i>) - DECOMPOSITION - ARIMA (<i>Box Jenkins</i>)
RELATIONAL/CAUSAL APPROACHES	<ul style="list-style-type: none"> - REGRESSION (<i>linear, squared,..</i>) - ECONOMETRICS / INPUT-OUTPUT
QUALITATIVE APPROACHES	<ul style="list-style-type: none"> - SALES FORCE - EXPERT PANELS / DELPHI METHOD - FUTURE SCENARIOS / ANALOGIES - MARKET SEARCH, SURVEYS, TEST - MARKETING

- Time series approaches:** Basati sulle serie storiche. Sono semplici, basati su dati facilmente recuperabili, facili da automatizzare ed è semplice aggiornare i moduli. Al contrario, hanno una considerazione limitata dei fattori esterni e non sono disponibili per prodotti con pochi dati storici.
- Relational/causal approaches:** basate su relazioni causali (utilizzano big data e machine learning) -> problemi: possibilità di correlazioni spurie + molto costoso
- Qualitative approach:** basati sulla qualità (utilizzati nel marketing).

Come valuto le correlazioni? Indice di regressione

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

-> Indice di correlazione (quadrato dell'indice di regressione)

Accuratezza della previsione

La previsione dipende da due parametri:

$$(t-k) F_t = \text{valore} \quad t=\text{periodo}$$

Previsione per t fatta in t-k (non è detto che più sia vicino a t più la previsione sarà precisa)

Come calcolo l'errore previsionale? ->indici di previsione

Indici di previsione

L'errore previsionale è dato da domanda-previsione

$$E_t = D_t - F_t$$

Gli indici sono:

- Distorsione
- Consistenza
- Tracciamento Segnale

ERROR STATISTICS

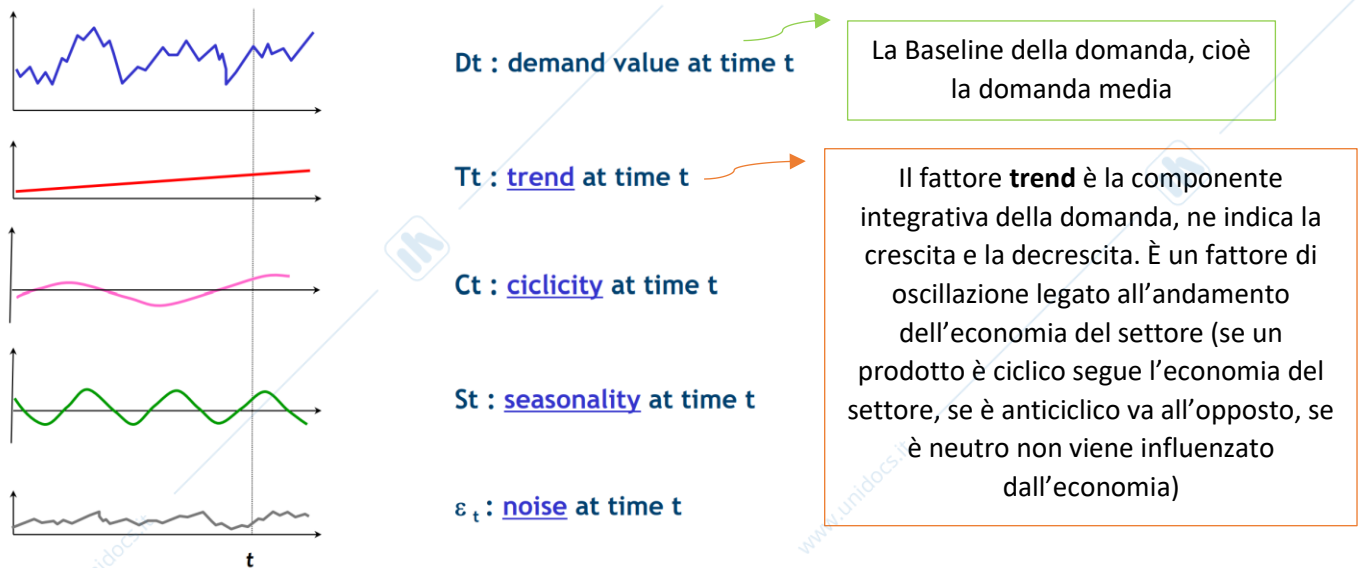
Type	Name	Symbol	Formula	Comment
DISTORSION	Mean error	ME	$ME = \frac{\sum_{t=1}^n E_t}{n}$	Measure of the BIAS
CONSISTENCY	Mean absolute deviation	MAD	$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n E_t }{n}$	Positive and negative errors don't cancel out
	Medium absolute percentage deviation	MAPE	$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{ E_t }{D_t}}{n} \times 100$	Percentage error
	Mean squared error	MSE	$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (E_t)^2}{n}$	Bigger errors weight more
	Standard deviation error	SDE	$SDE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (E_t)^2}{n-1}}$	Same as MSE but with a better unit of measure
TRACKING SIGNAL	Tracking signal	TS	$TS = \frac{\sum_{t=1}^n E_t}{MAD}$	It shows if there are always positive or always negative errors

Le componenti della domanda

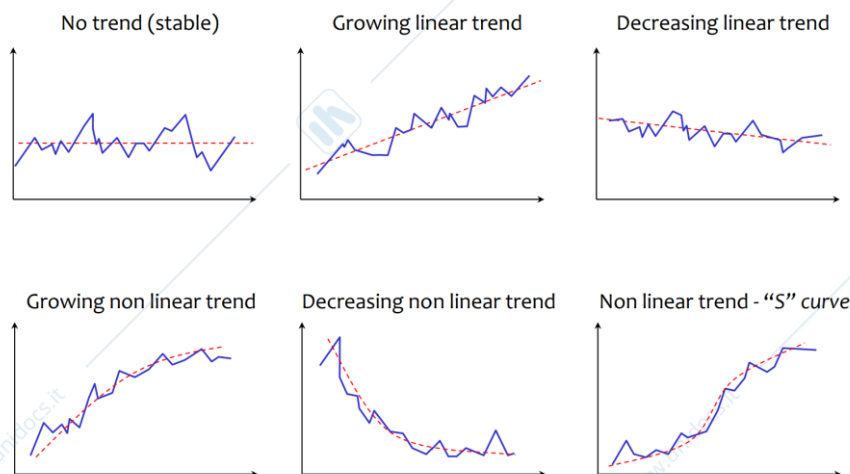
Se vado ad analizzare la domanda scomponendola nelle sue componenti chiave la posso dividere in:

- **TREND**, la cui crescita e decrescita può essere dovuta alla variazione del volume di mercato totale, la variazione di quote di mercato di specifiche compagnie. A sua volta il trend può essere stabile, crescente, decrescente, crescente non lineare, decrescente non lineare e a S.
- **CLICITÀ**, solo su lungo periodo. Un esempio sono i cicli macroeconomici
- **STAGIONALITÀ**, accade quando crescita e decrescita sono causate da una stagionalità che può essere climatica, dei costumi e delle abitudini delle persone (Natale, scuola), dei giorni di lavoro
- **CASUALITÀ**

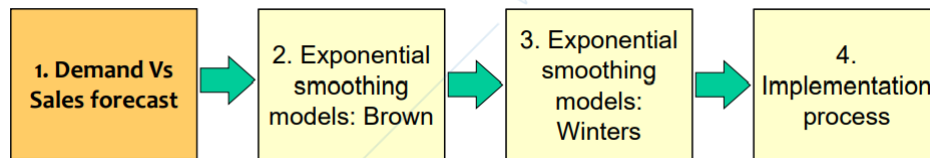
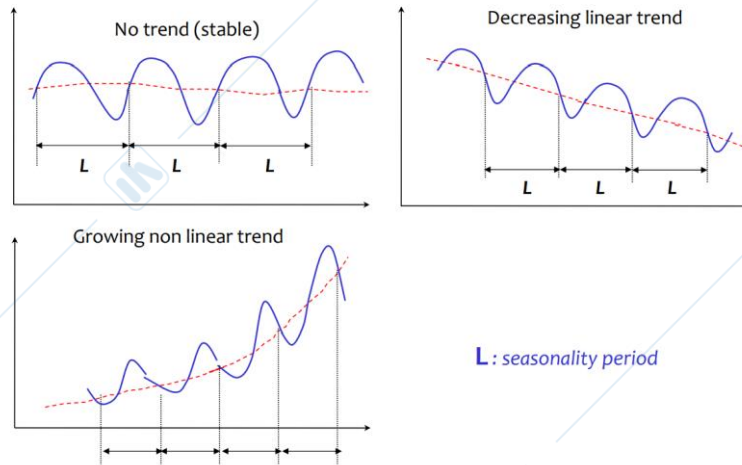
Posso intuitivamente capire graficamente le componenti della domanda da questa figura:



Tipi di domanda senza stagionalità:



Tipi di domanda con stagionalità



Modello a media mobile

Il primo metodo basato su serie storica è il modello della MEDIA MOBILE in cui la previsione delle domande di domani è la media delle domande di oggi.

La media mobile di periodo k , calcolata nel periodo t è la media aritmetica del valore della domanda negli ultimi k periodi a partire dal periodo t . Sarà calcolata con la formula seguente:

$$F_{t+1} = \frac{A_t + A_{t-1} + A_{t-2} + \dots + A_{t-k+1}}{k}$$

dove F_{t+1} è la previsione per il periodo $t+1$, A_{t-x} la domanda effettiva nel periodo $t-x$ e k il periodo della media mobile.

! Non legge stagionalità e ciclicità

Modello di Brown

Altro modello è quello in cui i pesi della media mobile sono calcolati in modo particolare, ovvero lo smorzamento esponenziale. Queste sono di fatto delle medie mobili particolari che possono essere scritte in modo ricorsivo.

Il MODELLO DI BROWN genera in un periodo t la previsione per il periodo $t+1$ basandosi sul dato di domanda registrato al periodo t (A_t) e la previsione (F_t) che era stata fatta al periodo $t-1$ per il periodo t , secondo la formula:

$$F_{t+1} = \alpha A_t + (1 - \alpha) F_t$$

Praticamente la previsione per domani fatta oggi è alfa volte la domanda di oggi + (1- α) la previsione di oggi fatta ieri. Se $\alpha=0$ è come se ignorassi il dato della domanda di oggi, invece maggiore è α tanto più il modello diventerà dinamico (di base più il valore è basso meglio è).

Modello di Winters

Altro modello utilizzato è quello di WINTERS, se la serie storica presenta sia trend che stagionalità è necessario utilizzarlo. Tale modello aggiunge infatti la componente di stagionalità, è una vera e propria equazione previsionale. Si esprime come:

$$F_{t+1} = (A_t + T_t) \cdot S_{t-L+1}$$

dove A è la domanda, T il trend ed S il fattore di stagionalità. Se dovrò fare una previsione per un tempo generale la formula diventerà:

$$F_{t+1} = (A_t + m \cdot T_t) \cdot S_{t-L+1+m}.$$

Una volta finito il tempo t, i valori di media, trend e stagionalità cambiano come segue:

- **Livello medio (base line):** $A_t = \alpha \cdot D_t S_{t-L} + (1 - \alpha) \cdot (A_{t-1} + T_{t-1})$
dove D_t è la domanda attuale, S_{t-L} mi dice a che punto sono nella stagionalità rispetto all'anno precedente e la parentesi finale indica la domanda destagionalizzata.
- **Trend:** $T_t = \gamma \cdot (A_t - A_{t-1}) + (1 - \gamma) \cdot T_{t-1}$
- **Stagionalità:** $S_t = \beta \cdot D_t A_t + (1 - \beta) \cdot S_{t-L}$

L'implementazione di processo

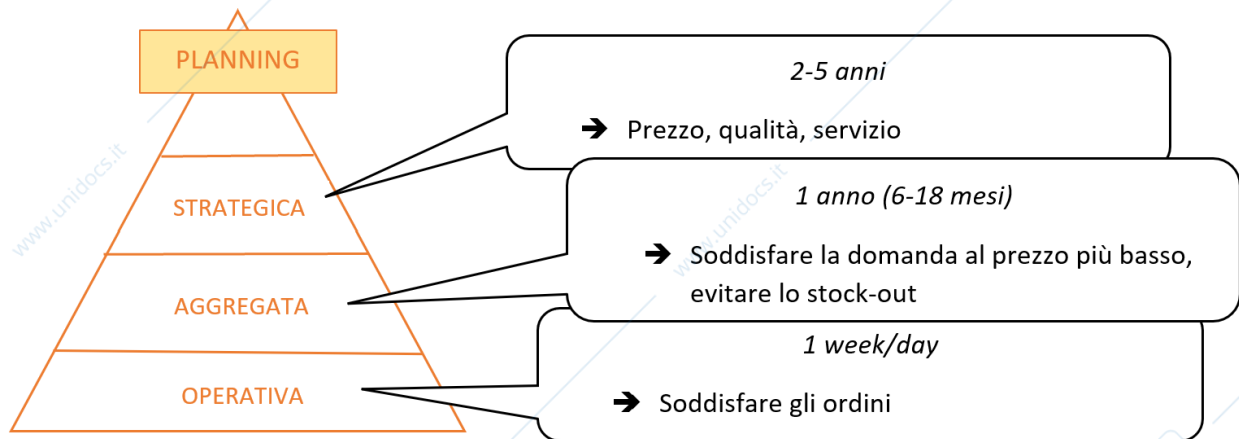
Il processo di implementazione è formato da quattro step:

1. Depurazione della domanda (da interferenze che non rendono confrontabile con la serie storica)
2. Inizializzazione modello (trovo la base della ricorsione)
3. Adattamento (prendo il modello e gli faccio prevedere il passato per vedere se coincide con i risultati reali)
4. Forecasting futuro

IL CICLO DI PIANIFICAZIONE

La pianificazione si può dividere in:

- Strategica: con orizzonte pluriennale con obiettivo di mantenere prezzo, qualità, servizi
- Aggregata: con orizzonte 6/18 mesi e l'obiettivo di realizzare una previsione onde evitare possibili stock out
- Operativa: con orizzonte 1/7 giorni e l'obiettivo di realizzare gli ordini in tempo e pianificare le SKU



La pianificazione raggruppa principalmente S&OP ed MPS; entrambi possono essere definiti come il processo tramite il quale, all'interno di un orizzonte, le imprese produttrici sia di beni che di servizi mantengono l'equilibrio tra domanda e offerta. Queste due fasi rappresentano quindi un punto di congiuntura tra le funzioni commerciali e l'area produttivo/logistica.

LA S&OP

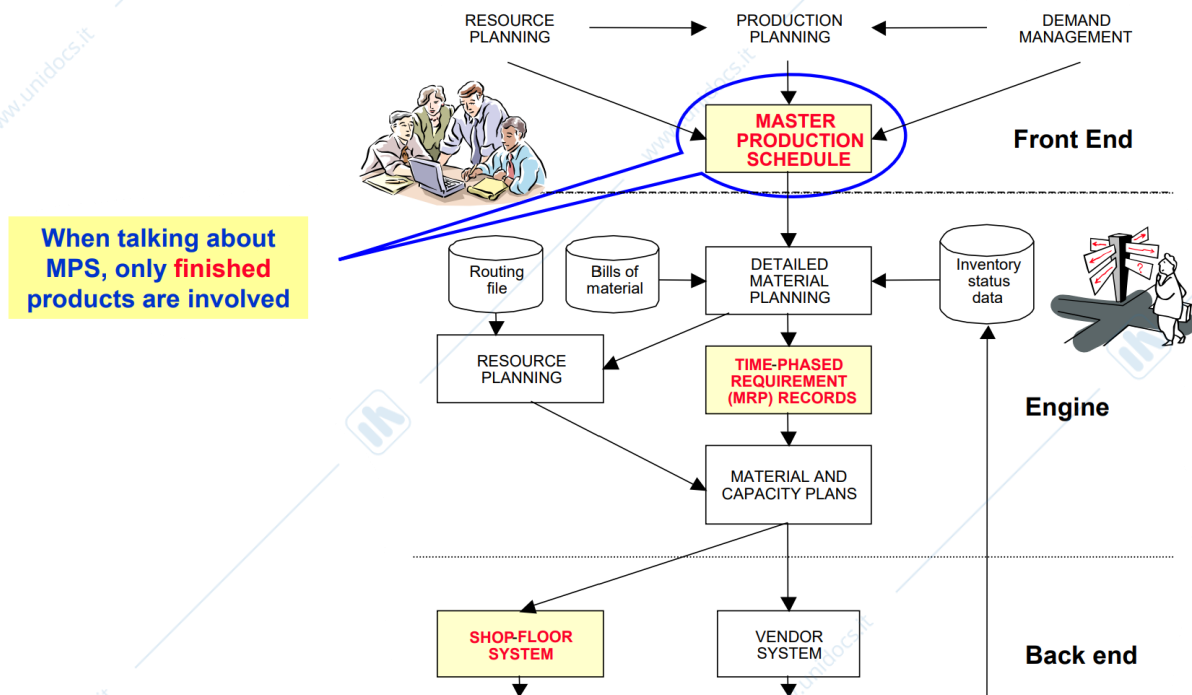
La Sales and Operation Plannig (S&OP):

- traduce le previsioni di vendita in impegni di produzione, effettua la *verifica di fattibilità* e in caso di infattibilità individua soluzioni di compromesso (incremento capacità produttiva o aggiustamento richieste commerciali)
- ragiona per famiglie (canali commerciali) e non verifica la capacità produttiva
- stabilisce il *ritmo di produzione* per famiglie di prodotti o altre categorie sul medio periodo.
- lo scopo principale è quello di specificare la combinazione ottimale di ritmo produttivo, forza lavoro e scorte per ciascun sottoperiodo. L'obiettivo è la *minimizzazione del costo* totale nell'orizzonte
- di fatto è una *matrice* che riporta nelle righe gli aggregati di produzione e nelle colonne i time bucket in cui è suddiviso con un quantitativo di prodotto riportato ad ogni incrocio riga/colonna.

LA MASTER PRODUCTION SCHEDULE (MPS)

Nel flusso informativo della Supply Chain, la freccia tra distributore e produttore rappresenta **MPS (Master Production Schedule)** -> come i distributori si comportano con i produttori. La MPS:

- sulla base della domanda commerciale e della capacità produttiva, *stabilisce i quantitativi* da produrre per ciascuna famiglia di prodotti finiti
- Ragiona per logiche produttive, similarità di processo e macchinari
- rappresenta quello che possiamo definire il fulcro del processo di *pianificazione aggregata* di vendite e gestione di capacità



I tre input del piano aggregato (la MPS) ha come input:

1. la previsione della domanda
2. la pianificazione di produzione
3. la gestione delle risorse

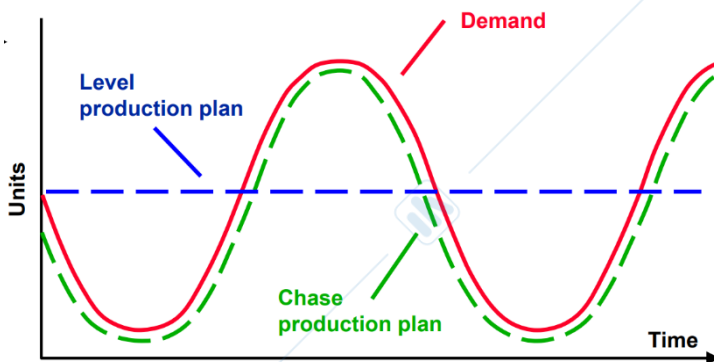
ed è divisa in:

- **Front end:** che contiene parte strategica e piano aggregato
- **Il motore (engine)** della pianificazione -> porzione della fase aggregata che si occupa dei componenti e dei sottoinsiemi
- **Back end:** fase di scheduling

COME SI REALIZZA UNA MPS?

I MPS seguono normalmente nel tempo un'evoluzione basata sul compromesso tra due alternative decisionali:

1. **Level:** anticipare la produzione per far fronte alle fluttuazioni della domanda tramite le scorte e utilizzare l'elasticità della risorsa critica per inseguire le variazioni della domanda facendo il minimo ricorso alle scorte -> tante scorte e pochi setup; utile sceglierlo con basso costo di mantenimento a scorta.
2. **Chase:** (vado "a caccia" della domanda); adatta il ritmo di produzione a quello degli ordini, sfruttando al massimo le leve di flessibilità ed elasticità dell'organico (licenziamenti, assunzioni). Il successo del Chase dipende dalla presenza di una riserva di addetti a rapida formazione cui attingere all'aumento degli ordini. Al contrario il piano Level è fondato sulla regolarità in quanto mantiene costante l'organico che opera a ritmo stabile. Carenze ed esuberanti vengono gestiti dalla variazione del livello delle scorte con rischio di stock out. -> poche scorte e tanti setup; utile da scegliere con costi di mantenimento a scorta alti.



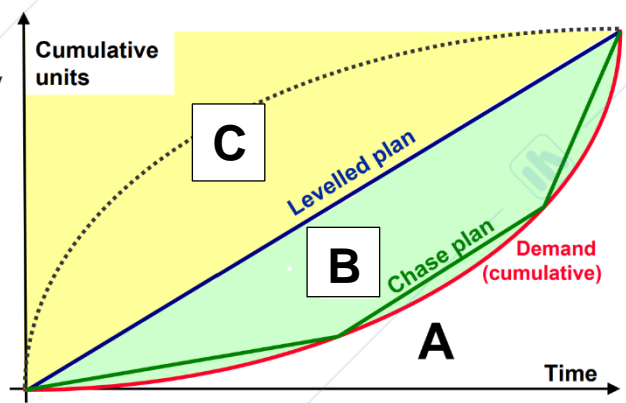
Nella pratica le imprese adottano un approccio ibrido tra i due piani maggiormente basato sull'approccio Level piuttosto che sul Chase. Ovviamente ciò può variare in base all'azienda, al contesto e alle circostanze.

Si fissa l'origine dell'asse temporale in un punto a domanda bassa, in attesa di un picco. In tale condizione, la curva che rappresenta la domanda cumulata e quindi il piano Chase è concava verso l'alto mentre il Level è rappresentato da una retta che intercetta la curva di domanda.

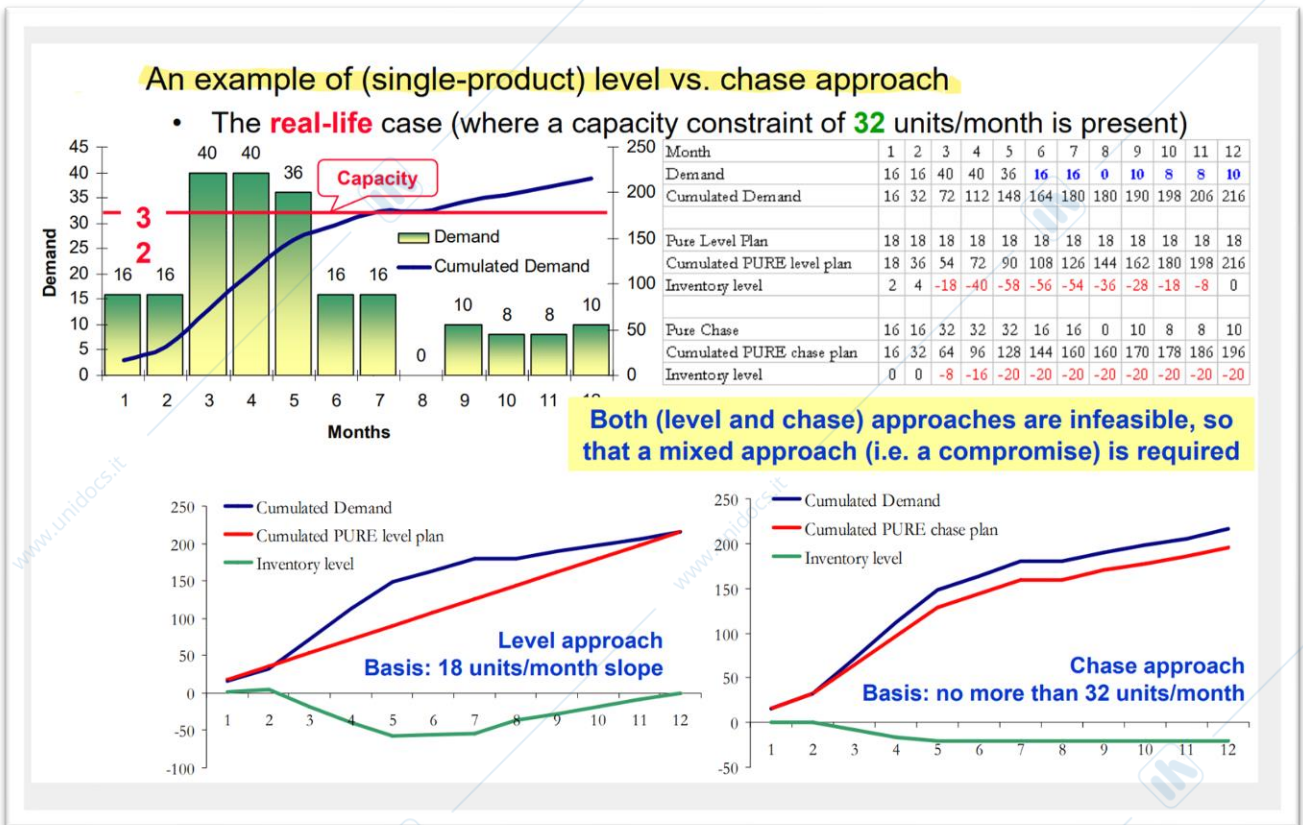
Dalla figura vediamo che: qualsiasi piano nella zona A è infattibile in quanto non soddisfa la domanda (stockout), mentre qualsiasi piano in zona C risulta caratterizzato da un costo non ottimale (qualsiasi piano passi per C, sono inefficienti perché, essendo sopra il piano Level, presenta sicuramente costi di set up maggiori). Infine, la zona B rappresenta l'unica zona ammissibile.

A conceptual model

- MPSs in the "A" zone are **infeasible**, since they do not meet demand
- MPSs in the "B" zone are **ineffective**, since they are dominated by the levelled plan
- **Real-life** MPSs are in the "C" zone; they are feasible and they represent a compromise between the two extremes (i.e. levelled and chase plan)



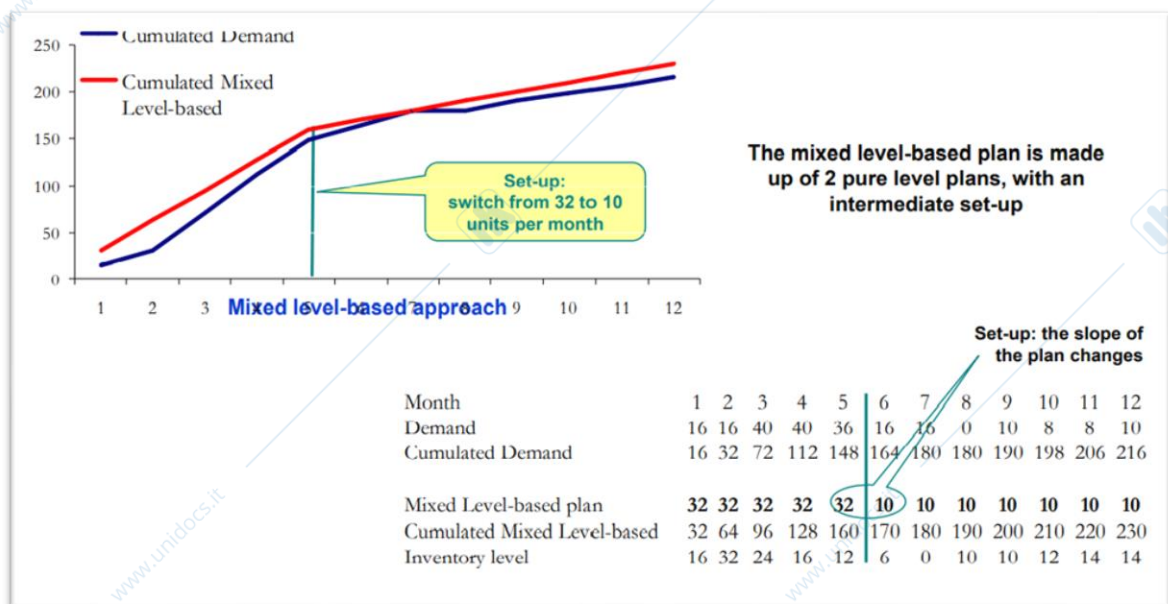
ESEMPIO



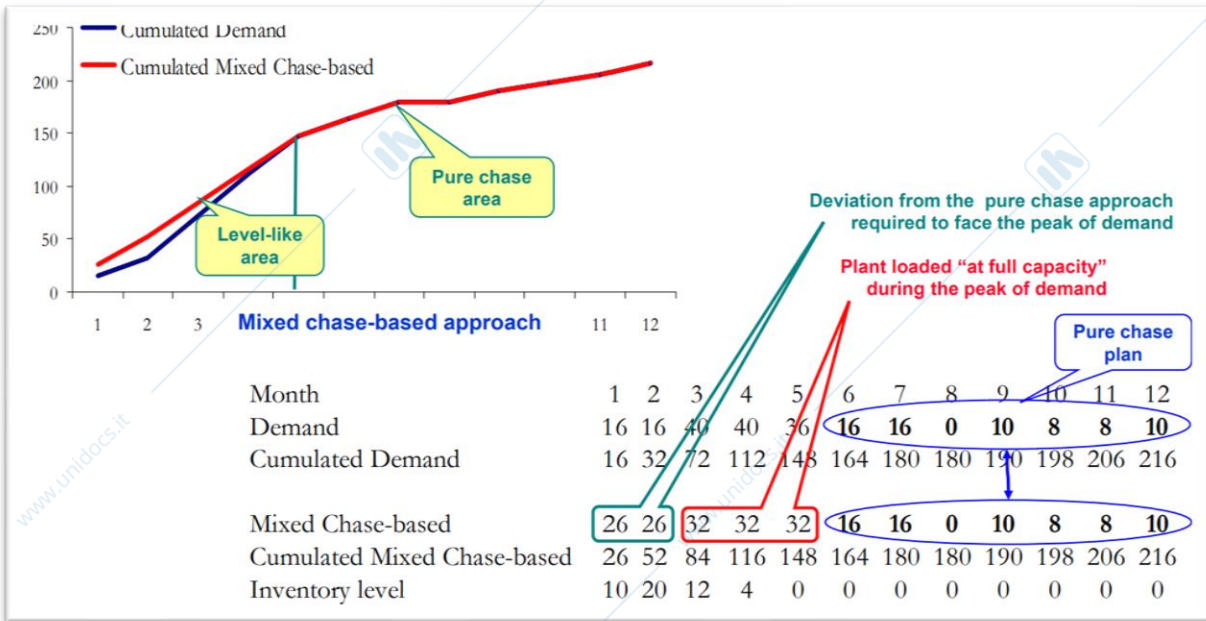
Sia il piano Chase che il piano Level presentano dei problemi: stockout, la scorta diventa negativa > inadeguatezza della pianificazione

Come posso risolvere?

Posso dividere l'orizzonte in **A (gennaio-maggio)**, in cui avrò un piano *misto* (in questo caso misto Level-based, perché cercherò di eseguire meno set up possibili) e **B (giugno-dicembre)**, in cui sono molto libero perché non ho problemi di capacità:



Alternativamente potresti seguire una logica mista Chase-based, ovvero cercando di minimizzare le scorte:



Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Demand	16	16	40	40	36	16	16	0	10	8	8	10
Cumulated Demand	16	32	72	112	148	164	180	180	190	198	206	216
Pure Level Plan	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Cumulated PURE level plan	18	36	54	72	90	108	126	144	162	180	198	216
Inventory level	2	4	-18	-40	-58	-56	-54	-36	-28	-18	-8	0
Pure Chase	16	16	32	32	32	16	16	0	10	8	8	10
Cumulated PURE chase plan	16	32	64	96	128	144	160	160	170	178	186	196
Inventory level	0	0	-8	-16	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
Mixed Level-based	32	32	32	32	32	10	10	10	10	10	10	10
Cumulated Mixed Level-based	32	64	96	128	160	170	180	190	200	210	220	230
Inventory level	16	32	24	16	12	6	0	10	10	12	14	14
Mixed Chase-based	26	26	32	32	32	16	16	0	10	8	8	10
Cumulated Mixed Chase-based	26	52	84	116	148	164	180	180	190	198	206	216
Inventory level	10	20	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0

RCCP

Dopo l'MPS troviamo l'RCCP (Rought-Cut Capacity Plannig)

- verifica se il piano è fattibile o meno.

Rought: grezzo, non preciso -> tiene conto solo del punto di vista della *quantità* e non di quello del *tempo*.

Capacity: parola chiave. Riuscirò nel mio intento? Ho stampi, forni, imballaggi abbastanza per coprire la produzione che prevedo?

MODELLI MATEMATICI PER L'MPS

Una classificazione dei metodi di formulazione MPS è basata sulla descrizione del sistema produttivo utilizzata nel modello: essa esegue una partizione dei metodi tra sistemi monoprodotto-monolinea e sistemi multiprodotto-monolinea. Tra i secondi troviamo i modelli di:

- PL intera
- Karni Roll
- Aucamp (ferma a slide 45)

(vedere il pdf relativo)

IL MODELLO DI MAGEE BOODMAN

Il modello di Magee Boodman consente di determinare il numero economico (= ottimizzato) di **campagne** (= quante volte in un anno mettiamo in produzione un prodotto) che vengono svolte nell'orizzonte di pianificazione, supponendo che ogni campagna preveda la realizzazione di tutti i prodotti. Si tratta di un modello derivato dalle tecniche di gestione dei materiali a scorta e si presta bene a situazioni in cui varietà di prodotti diversi vengono realizzati sullo stesso sistema produttivo.

Obiettivi:

- determinazione della lunghezza economica dei cicli produttivi in un anno
- stabilire il numero di campagne -> definisce quante volte in un anno mettiamo in produzione un prodotto e quindi anche quante volte faccio un set up

N.B: il set up non tiene conto del tempo perso in produzione

Come nel caso di EOQ, la funzione obiettivo è data dalla somma del costo di mantenimento a scorta e del costo di setup.

$$C_{tot} = C_{mant} + C_{setup}$$

Dove il costo di set up:

$$C_{totSetup} = n_o \times \sum_{k=1}^K a(k)$$

E il costo di mantenimento a scorta:

$$C_{totStockHold} = \sum_{k=1}^K \frac{p(k) \times C_m \times D(k) \times \left(1 - \frac{D(k)}{H \times T(k)}\right)}{2 \times n_o}$$

$$= \sum_{k=1}^K \frac{1}{2} p(k) \cdot C_m \cdot \frac{D(k)}{m_o}$$

GIACENZA MEDIA

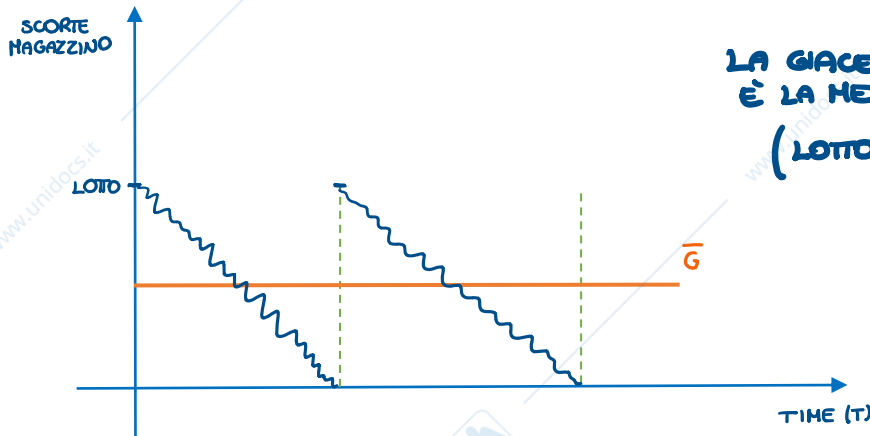
- C_m prodotto di tre componenti:
 - giacenza media (G)
 - tasso barriera (i_k)

Giacenza media:

$$\bar{G}_k = \frac{D(k)}{2m_o} = \frac{1}{2} \cdot \frac{D(k)}{m_o}$$

(Handwritten notes: $\frac{D(k)}{m_o} \rightarrow \frac{A_z}{y}$ and $\frac{1}{2} \rightarrow \frac{\#}{y}$)

ma perché la giacenza media è la metà del lotto? -> sawtooth diagram

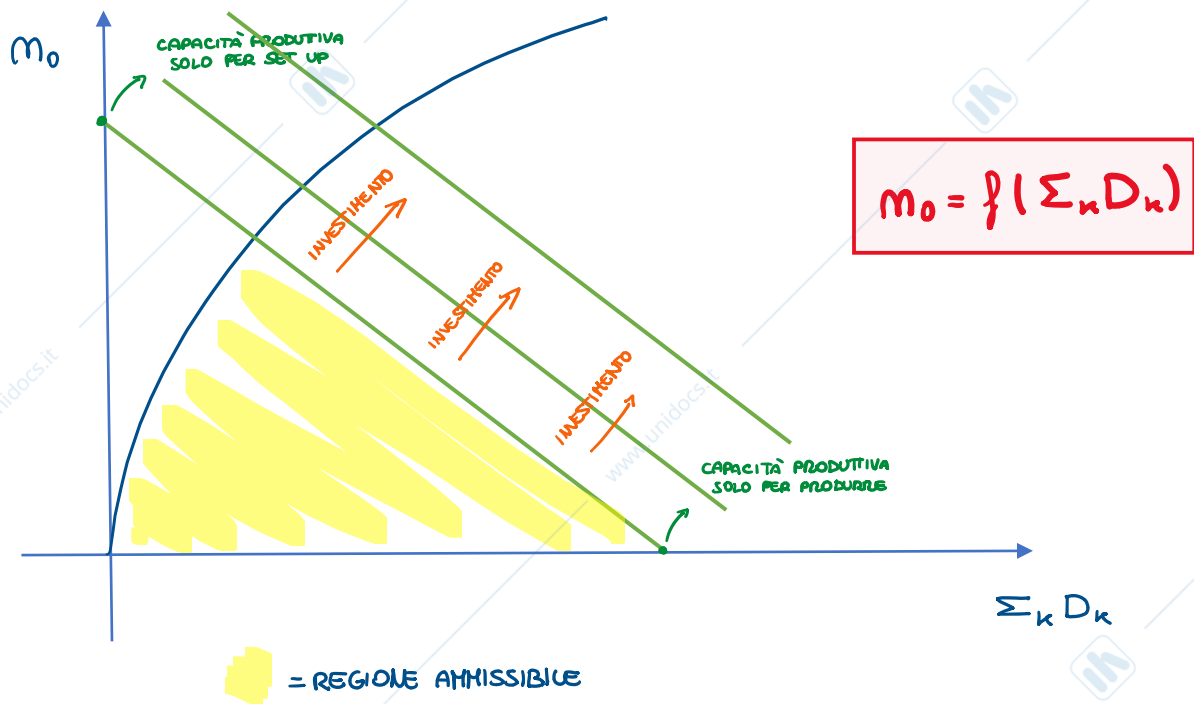


La funzione di costo totale è: $C_{tot} = n \sum_k a_k + 1/2n \sum_k p_k D_k C_m$

Qual è la mia incognita/variabile?

$$n_o = \sqrt{\frac{i \cdot \sum_k p_k \cdot D'_k}{2 \cdot \sum_k a_k}}$$

Voglio capire come funziona m_0 in funzione della sommatoria di $\sum_k a_k D_k$



LE CURVE DI ESPERIENZA

Le curve di esperienza ci dicono che al crescere delle ripetizioni il tempo diminuisce. Di solito le curve di esperienza si caratterizzano tramite una percentuale:

- una curva del, ad esempio, 80% significa che ogni volta che raddoppia il volume di unità prodotte, il tempo totale di ore uomo necessario per produrre una unità diminuisce del 20%

Dal punto di vista matematico una curva di esperienza è esprimibile:

$$\text{Log } T_k = \text{Log } T_1 + b \cdot \text{Log } k$$

Dove:

- $b = \log r / \log 2$ ($r = 80\%$) -> logaritmo sarà un numero negativo e quindi la funzione sarà un esponenziale decrescente
- T_1 tempo necessario per assemblare la kappesima unità
- T_k tempo necessario per assemblare la prima unità

esempi

N.B.:

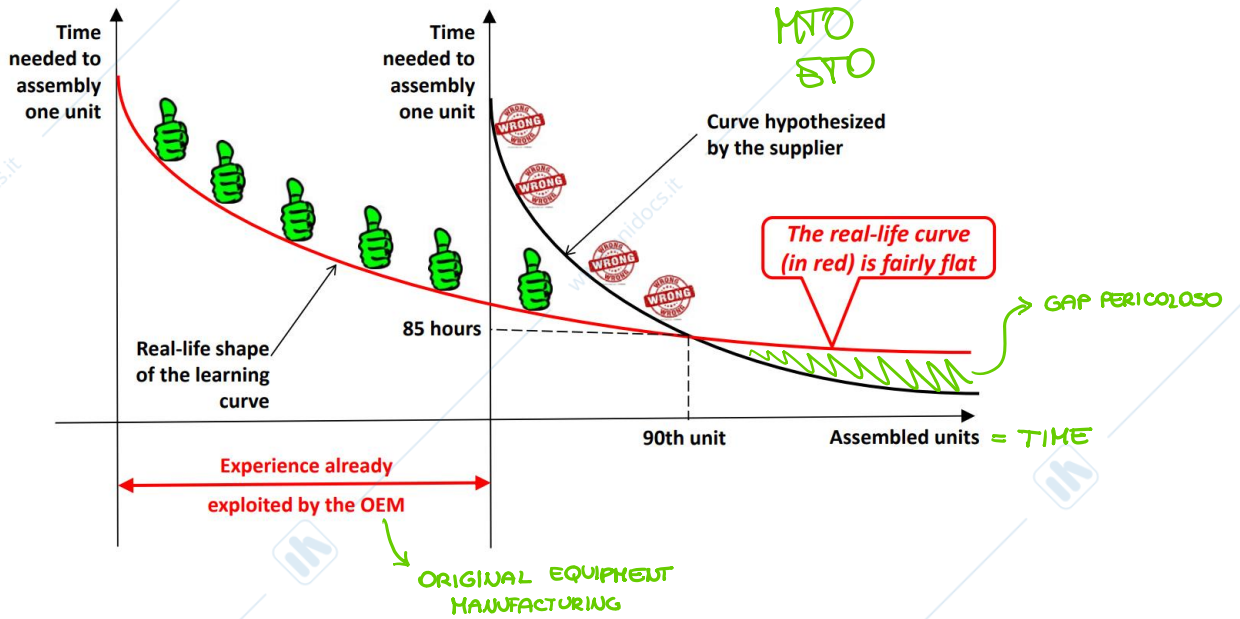
- la curva di esperienza è unica
- r :
 - Destrezza manuale
 - Organizzazione

for $r = 80\%$, $b = \log 0.8 / \log 2 = -0.322$

therefore: $T_k = T_1 \cdot k^{-0.322}$

for $r = 72\%$, $b = \log 0.72 / \log 2 = -0.474$

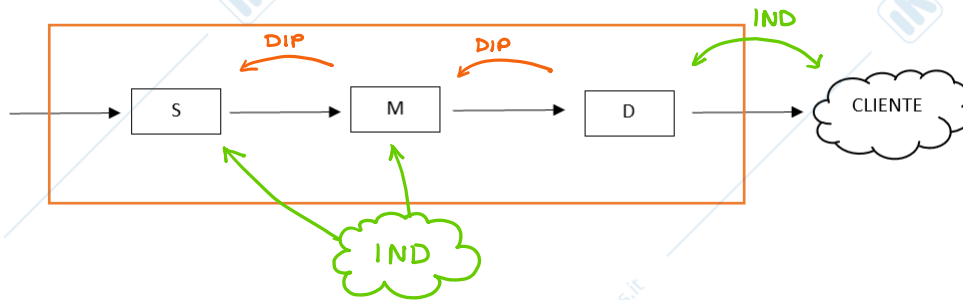
therefore: $T_k = T_1 \cdot k^{-0.474}$



LA DOMANDA INDIPENDENTE

Cosa significa *domanda indipendente*?

Facendo riferimento al grafico della supply chain:



- ➔ Tutte le volte che la domanda “taglia” il confine della supply chain è una domanda *indipendente*.
- ➔ Tutte le volte che la domanda è interna al grafico della supply chain è *dipendente*.

(Quindi il fatto che una domanda sia dipendente o indipendente non dipende dalla posizione nella Distinta Base, ma dal fatto che il cliente sia esterno o interno).

In particolare, la domanda:

- Indipendente -> B2C (business to consuming) -> forecasting (prevista)
- Dipendente -> B2B (business to business) -> planned (calcolata)

Obiettivo?

Cliente fa quello che vuole-> dobbiamo cercare di produrre la cosa giusta in modo da soddisfarlo

Stock out? -> per evitarlo dobbiamo cercare di capire:

- What?
- How much?
- When?

METODI DI GESTIONE DELLE SCORTE

Analizziamo ora i più importanti metodi di gestione delle scorte nel caso di domanda indipendente. I modelli sono:

- The EOQ-ROP model
- The IE model
- The safety stocks model

		Interval of order issue	
		Fixed	Variable
Quantity ordered	Fixed	Continuous control Independent entries reorder	EOQ-ROP Model
	Variable	Discrete control Combined entries reorder	IE Model Switch models

Nota: Una grande 'X' rossa è presente nella cella corrispondente a Quantity ordered Fixed e Interval of order issue Variable.

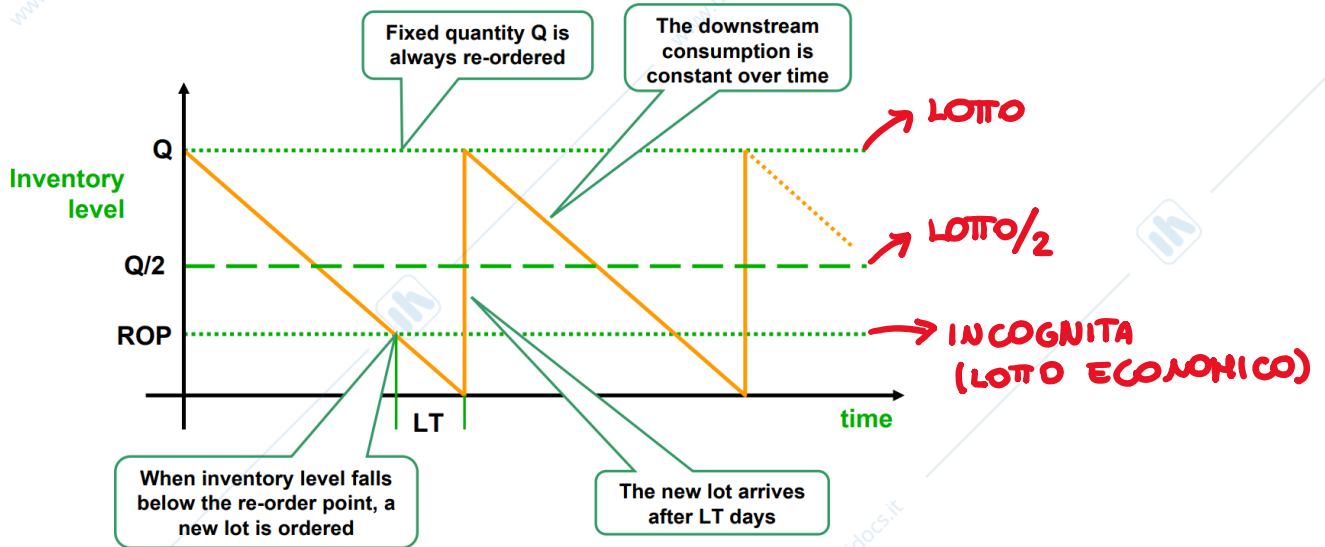
IL MODELLO EOQ-ROP (LOTTO ECONOMICO)

Il modello EOQ-ROP (Economic order quantity & re-order point) è di gran lunga quello più utilizzato per la gestione delle scorte. Questo modello di gestione delle scorte si contraddistingue (come si può vedere nella matrice sopra) da una quantità ordinata fissa e da un intervallo di emissione dell'ordine variabile.

Gli obiettivi specifici del modello sono:

1. Identificare la **quantità** (pezzi) da riordinare al fine di minimizzare i costi legati alla gestione delle scorte (costo di mantenimento a scorta)
2. Individuare le **condizioni** che determinano l'emissione degli ordini (->trigger, determinato dal *punto di riordino*)

IL DIAGRAMMA SAW-TOOTH (DENTE DI SEGA)



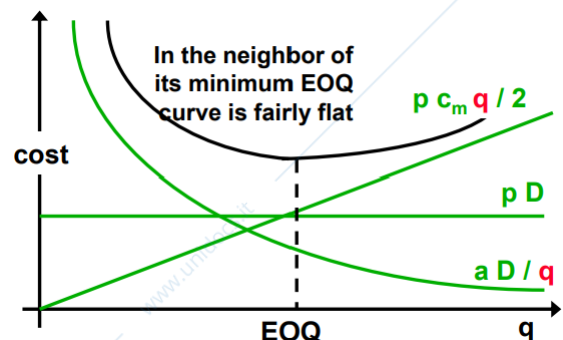
LA FUNZIONE DI COSTO

Per arrivare a determinare l'espressione di q che minimizza la somma dei costi di gestione, dovrò prima ricavare:

1. **Costo totale di acquisto:** quantità complessivamente acquistata moltiplicata per il costo unitario d'acquisto: $D \cdot p$
2. **Costo totale di mantenimento a scorta:** $C_{ms} \cdot q/2 \cdot p$
3. **Costo emissione dell'ordine:** $D/q \cdot a$

Da cui otterrò la funzione di costo totale:

$$F = D \cdot p + D/q \cdot a + C_{ms} \cdot q/2 \cdot p$$



Derivando F in $\partial F / \partial q = 0$, ottengo:

$$p \times D + p \times c_m \times q / 2 + a \times D / q$$

$$0 + p \times c_m / 2 - a \times D / q^2 = 0 \quad \text{da cui ottengo la formula di Wilson ->}$$

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot a \cdot D}{p \cdot c_m}}$$

IL PUNTO DI RIORDINO

$$ROP = LT \times D / H$$

INTERPRETAZIONI

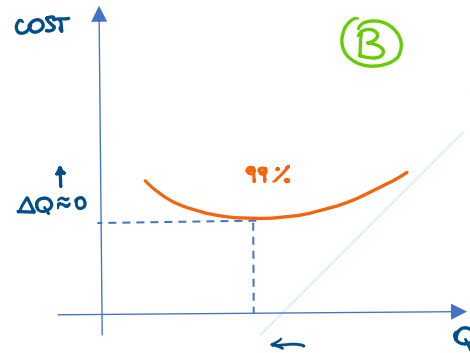
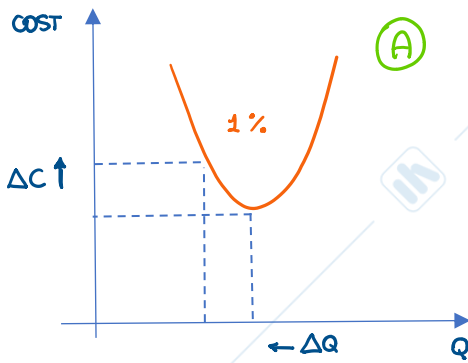
1) $EOQ = K \sqrt{\Delta}$

La dimensione del lotto non è proporzionale alla domanda

$\Delta \times 2 \rightarrow$ EOQ sale del 40%

$\Delta / 2 \rightarrow$ EOQ scende del 40%

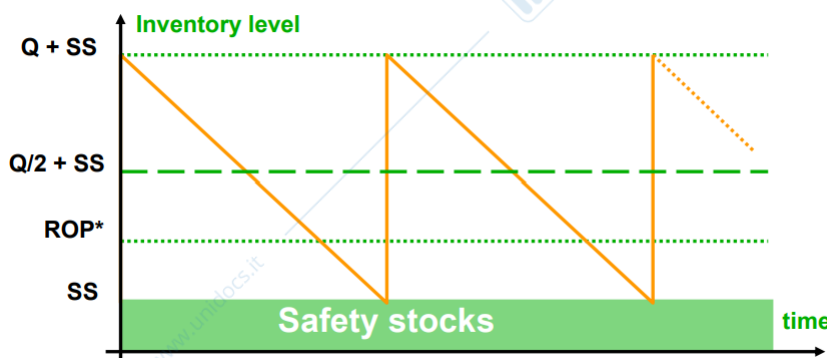
2) $\frac{\delta^2 C}{\delta Q^2} = \frac{2aD}{p^2} > 0$ SEMPRE (CONCAVA) ?



- A. ΔQ piccolo \rightarrow $\Delta cost$ grande
- B. ΔQ grande \rightarrow $\Delta cost$ piccolo

Nel 99% dei casi siamo in B. Allora a cosa serve avere un lotto economico? Serve a pianificare i lotti individuandone l'ordine di grandezza ed è di grande utilità soprattutto nei contesti industriali.

Warning



Il lotto economico è del tutto insensibile alle scorte di sicurezza!

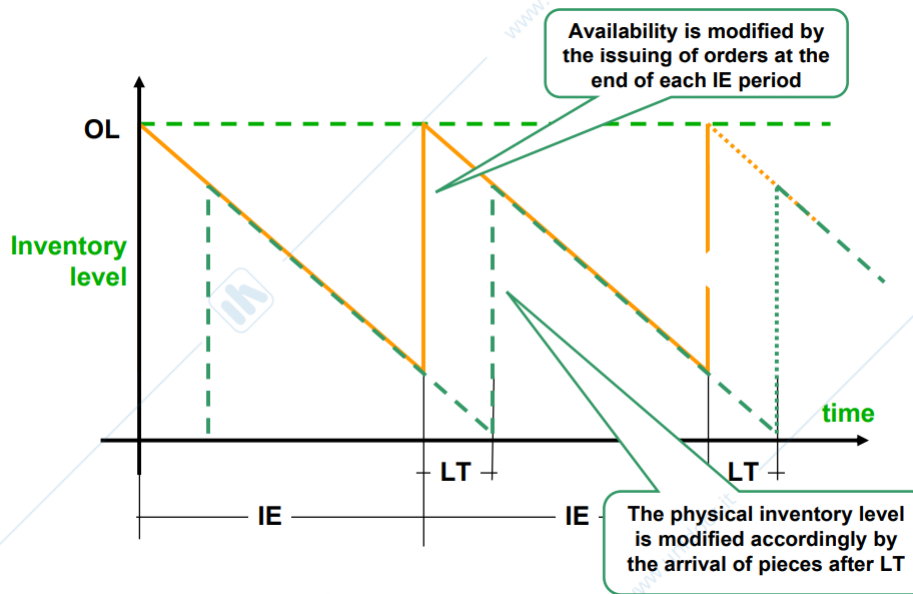
Ovviamente però le scorte di sicurezza spostano il punto di riordino (cambia esattamente in quantità pari alle scorte di sicurezza

IL MODELLO IE

Il modello a intervallo fisso di riordino è un modello di gestione a scorta caratterizzato da un tempo intercorrente tra l'emissione di un ordine e il successivo costante e, conseguentemente, da una quantità ordinata variabile, da una tipologia di controllo discreto (controllo stato giacenze effettuato secondo cadenza prefissata) e dalla possibilità di effettuare riordini a voci congiunte.

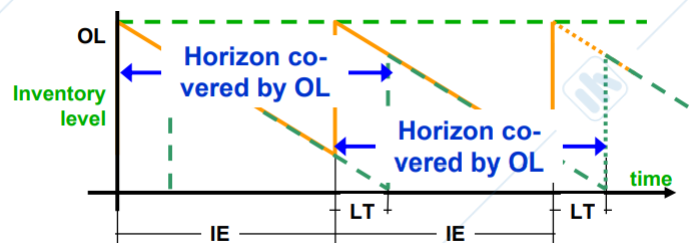
La logica del modello è quella di definire allo scadere di ciascun intervallo (IE) la quantità da ordinare in modo da portare la disponibilità di ciascun codice gestito da questo modello ad un livello obiettivo (LO). Dovrà quindi identificare il valore LO di ciascun codice gestito che consenta di soddisfare la domanda che si manifesta durante l'intervallo di emissione dell'ordine.

L'impiego del modello a intervallo fisso di riordino sarà quindi utile nel caso di approvvigionamento dall'esterno, in caso di sku molto alti, in quei contesti caratterizzati da risparmi nei costi di acquisto e/o di trasporto dovuti al fatto che vengono emessi ordini a cadenza regolare.



Overall period to cover: $OL = (IE + LT) \times D / H$

daily demand or demand rate: $OL^* = (IE + LT) \times D / H + SS$



IL MODELLO DELLE SCORTE DI SICUREZZA

Le scorte di sicurezza proteggono l'inventario dalla domanda imprevedibile e dalle interruzioni del lead time a monte. Presentano tre principali punti critici:

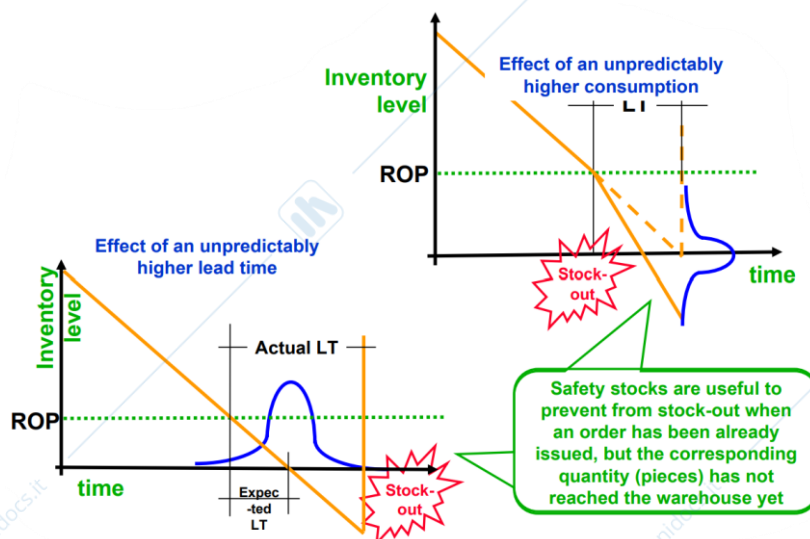
1. **Sizing:** determinare il numero di pezzi per sku
2. **Positioning:** posizionamento delle scorte di sicurezza (fondamentale sia nella distribuzione che nella supply chain) **N.B:** potrei avere *scorte* ma non *scorte di sicurezza* o viceversa (non sono la stessa cosa!)
3. **Replenishing:**
 - asap
 - never
 - along orders

Perché non si ripristinano immediatamente le scorte di sicurezza?
Perché esse vengono solitamente intaccate in quantità minime -> dovrei riordinare quantità piccole (sconveniente)

Il modello delle scorte di sicurezza si basa su alcuni principi base:

- Le scorte di sicurezza proteggono il sistema dagli imprevisti a valle e a monte della produzione (un tipico imprevisto a valle è la domanda in eccesso mentre un tipico imprevisto a monte può essere un ritardo dell'approvvigionamento)
 - Rappresentano un livello di scorte virtuale utile per alcuni propositi.
 - Sono intoccabili quindi sono sottratte da ciò che è disponibile
- L'obiettivo sarà quello di dimensionare propriamente le scorte di sicurezza considerando sia consumi che lead time come variabili casuali.

IL DIAGRAMMA SAW-TOOTH (DENTE DI SEGA)



Andando ora ad osservare come calcolare le SS, si vede che il fattore del livello di servizio k è calcolato usando la normale della distribuzione standard per le variabili casuali e varia in base al valore del livello di servizio SL.

$$SS = k \cdot \sigma_D^*$$

Service level factor "Combined" standard deviation of demand during LT

$K = \text{service level factor}$ -> calcolato usando la Distribuzione Normale Standard per variabili aleatorie (chiamata anche funzione Gaussiana):

$$\Phi(k) = \int_{-\infty}^k \frac{e^{-x^2/2}}{\sqrt{2\pi}} dx = SL \quad \rightarrow \text{funzione di Gauss}$$

Per il calcolo del fattore σ_D^* la formula sarà $\sigma_D^* = (\sigma_{D,LT}^2 + \sigma_{LT,D}^2)^{\mu}$ con:

- $\sigma_{D,LT}^2$ deviazione standard della domanda durante il lead time
- $\sigma_{LT,D}^2$ deviazione standard del lead time convertito in unità di misura della domanda

Se LT è un numero fisso:

$$SS = k \sigma_D \sqrt{LT}$$

Se invece LT è una variabile aleatoria:

$$\sigma_D^* = \sqrt{\sigma_D^2 \cdot LT + \sigma_{LT}^2 \cdot D^2}$$

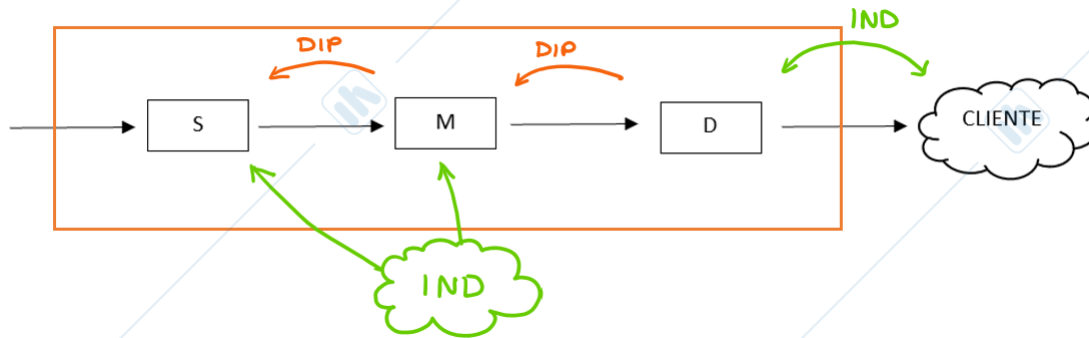
Variance of daily demand Mean lead time Lead time variance Mean daily demand

SUM UP

Tirando le somme finali, i sistemi per la domanda indipendente sono modelli dove il riordino di ciascun prodotto durante la pianificazione può essere deciso solo conoscendo in modo completo il livello delle scorte.

Il modello EOQ-ROP è il modello più utilizzato ed è usato per prodotti con alti costi di vendita e produzione. Il Modello a intervallo fisso di riordino è tipico di prodotti con basso costo di stoccaggio e basso costo di riordino. Infine, il modello delle scorte di sicurezza è usato per proteggere il magazzino contro imprevedibili impennate di domanda e l'interruzione del lead time.

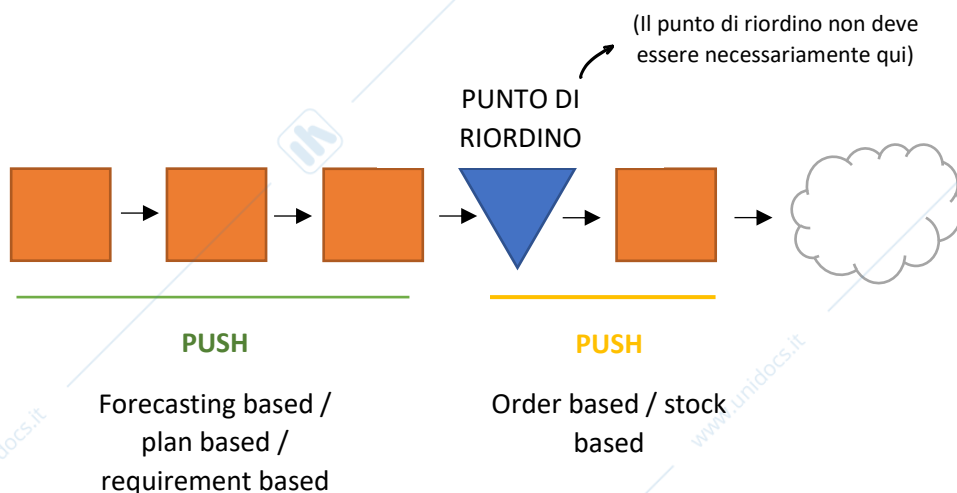
LA DOMANDA DIPENDENTE, L'MRP E L'EFFETTO FORRESTER



LA GESTIONE DELLE SCORTE

Ci sono due modi di pianificare le scorte:

- Sistema PULL (stock based) = flusso fisico tirato dalla domanda di mercato (ordini)
- Sistema PUSH (need based) = flusso fisico spinto da una previsione



N.B: Non è vero che supply side e demand side coincidano con push e pull!

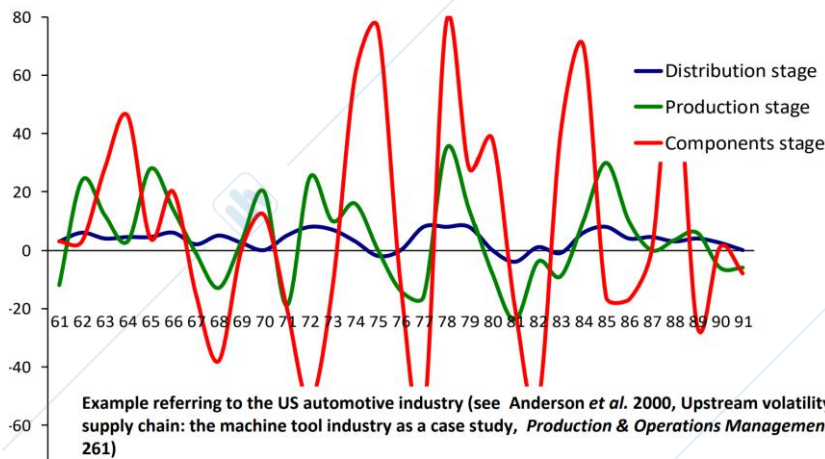
Tipicamente le tecniche push vanno bene per gestire la *domanda dipendente*, mentre quelle pull per gestire la *domanda indipendente*.

LA TECNICA PULL

Obiettivo: aver sempre a magazzino i prodotti richiesti

- Ogni fase del processo produttivo vede solo il magazzino a valle ma è completamente cieca verso il resto del processo.

Anche da questo ha origine quello che chiamiamo effetto **bullwhip**. L'effetto bullwhip, anche detto effetto **Forrester** ci dice che anche un piccolo cambiamento al più basso livello di produzione può generare una variabilità risalendo a monte nella produzione.



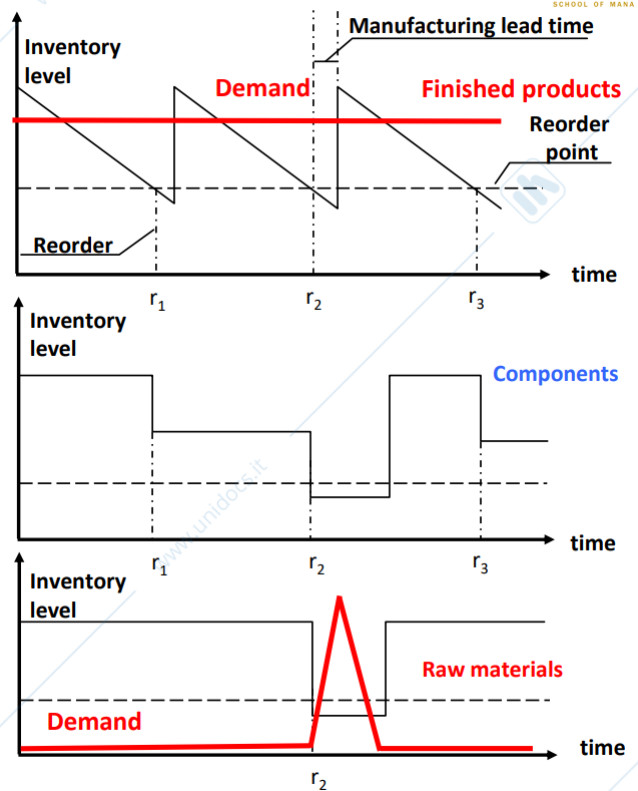
Perché non si può usare il push sulla domanda dipendente?

Il *lotto economico* non va mai usato con la domanda dipendente, perché:

- Tendono a generare alti livelli di scorte
- Generano delle perturbazioni della domanda che non corrispondono i picchi a livello di prodotto finito.

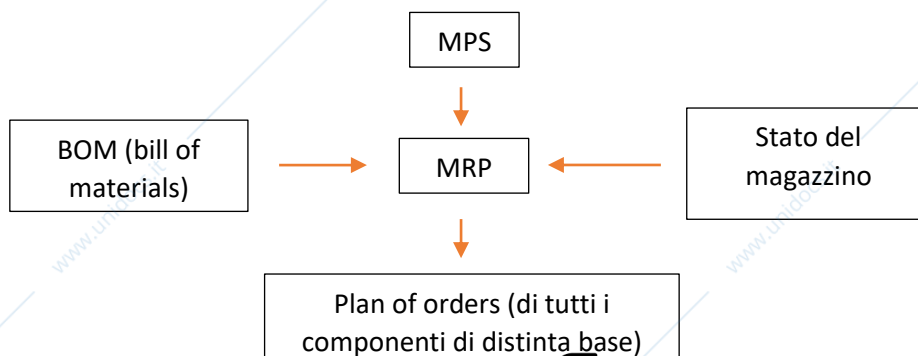
Possiamo notare che più si scende a livello di fornitura, più gli scalini e gli ordini sono grandi -> modello del lotto economico inefficiente.

Inoltre, il picco di domanda nel grafico delle materie prime non sarà generato dai clienti perché guardando il grafico del prodotto finito vediamo che la domanda resta piatta nel tempo.



LA TECNICA PUSH

Obiettivo: calcolare Which? How much? When?



L'MRP è una procedura *ricorsiva* rispetto ai livelli della distinta base da prodotti finiti a materie prime (espando la distinta base).

Per poter avviare la pianificazione dei fabbisogni dei materiali MRP è necessario conoscere:

- MPS in cui sono stabiliti con cadenza settimanale i prodotti finiti da produrre e le relative quantità
- Distinta base, consente di conoscere le quantità di componenti per ciascun prodotto finito e l'ordine logico della loro produzione in base alla struttura a livelli
- Stato di aggiornamento dei magazzini in termini di livelli di scorta di tutti i possibili materiali/componenti per valutare l'eventuale necessità di emettere un ordine
- Tempi di produzione e di approvvigionamento dai fornitori; - Lotti minimi di produzione o regole di lottizzazione

L'MRP opera in maniera ricorsiva basandosi sulla regola delle 3S:

- **Sum:** somma i requisiti che vengono da ordini diversi ma che si riferiscono allo stesso periodo
- **Split:** divide i requisiti totali per periodi basandosi sul principio del lot-sizing
- **Shift:** sposta indietro i requisiti basandosi sui diversi lead time riportati nella bill of materials.

La determinazione dei fabbisogni netti parte dal calcolo dei *fabbisogni lordi*, dato dalla somma di fabbisogno interno ed esterno. Ottenuto il fabbisogno lordo totale lo confronto con la scorta disponibile dell'articolo in esame. Se il confronto fabbisogno lordo/disponibilità tende ad esaurirsi, l'articolo in esame non richiede riapprovvigionamento, al contrario se si esauriscono le scorte disponibili si evidenzieranno i fabbisogni netti. Possono essere presenti dei coefficienti di maggiorazione per scarti che andranno accuratamente tenuti conto correggendo i fabbisogni netti.

MRP = Materials Requirement Planning



MRP² = Materials Resource(s) Planning



ERP = Enterprise Resource(s) Planning

PROBLEMI INTRINSECHI DI COSTRUZIONE DELL'MRP

1. MRP opera a capacità infinita

I sistemi informativi per la gestione della produzione con la metodologia MRP non permettono di gestire la capacità ma consentono di gestire modifiche al piano dei fabbisogni. Sarà quindi facoltà dei planner agire manualmente per spostare fabbisogni o lasciare alla successiva fase di programmazione operativa il compito di attuare provvedimenti che eliminino la condizione di infattibilità.

2. MRP considera i lead time fissi e pre-determinati

Come ben sappiamo, per quanto riguarda il lead time esso è *variabile* e non fisso come stabilito nell'MRP. Si pone il problema di stimare il lead time, cioè di identificare un criterio che permetta di definire un dato fisso da fornire in input al sistema MRP sapendo che poi la pianificazione effettuata da MRP genererà un determinato carico sulle risorse e quindi determinerà il valore reale del lead time. Il tema non è banale in quanto *sovrastimare il lead time* si traduce in allungamento del tempo

complessivo di realizzazione prodotto che porta a programmazione poco affidabile, non rispettare data di consegna e WIP in aumento. Per contro, se il *lead time* è *sottostimato* si andrà incontro allo stock out di qualche componente. Questi problemi andrebbero risolti a monte o a valle dell'MPS ma non all'interno dei sistemi:

- A monte: impostare MPS con approccio level tale cioè da livellare tutti i carichi nel tempo e far sì che arrivi un carico uniforme
- A valle: delegare questo alla programmazione operativa a patto di disporre di un'elevata elasticità

3. MRP necessita di una enorme mole di dati

L'ultima criticità riguarda il volume dei dati necessari per l'elaborazione: occorre conoscere un'enorme mole di dati e la qualità dei dati influenza la qualità della pianificazione con errori legati a informazioni tecniche e di stato.

Per risolvere possiamo usare i **superbills**, un riarrangiamento delle bills of materials che vengono organizzati in moduli al fine di occupare meno spazio e migliorare l'accuratezza dei processi di previsione.

PROGRAMMAZIONE OPERATIVA

Precedentemente abbiamo evidenziato come il sistema MRP si preoccupa di pianificare i prodotti ma non le risorse produttive. Il compito di pianificare in dettaglio le risorse produttive, soprattutto in termini di capacità (la capacità produttiva è data) spetta all'ultima fase decisionale del ciclo: la **programmazione operativa o scheduling** il cui scopo è *tradurre gli ordini di produzione in ordini di produzione operativi* (obiettivo: order to fulfillment).

Oggetto dello scheduling sono i *job*, che definiamo come un lotto di pezzi che deve essere lavorato nel sistema. Per la realizzazione di un job sono necessarie numerose operazioni che devono essere programmate in sede di scheduling per permettere il completamento del job nei tempi richiesti dal MRP.

Per poter parlare di scheduling è necessario introdurre il concetto di *routing* (ovvero il percorso del prodotto all'interno del processo produttivo).

Esplichiamo quindi lo scheduling nel risolvere due problemi distinti ma strettamente correlati:

- **L'allocazione (dispatching)** delle operazioni sulle singole risorse produttive disponibili, problema che si manifesta quando il singolo lavoro (job) da programmare può essere realizzato impiegando risorse alternative. In questa fase si considera l'intero reparto che si sta programmando e si distribuiscono i lavori alle risorse presenti
- **Il sequenziamento (sequencing)** dei lavori sulle risorse, da affrontare tenendo conto delle caratteristiche dei lavori stessi, delle caratteristiche dell'impianto e dell'obiettivo della programmazione. Questa fase è specifica per ogni singola risorsa: ogni macchina sulla quale sono stati allocati job differenti deve essere oggetto di un'opera di sequenziamento prima di poter iniziare a lavorare.

ESEMPIO

■ J1: M1(1) -> M2(1) -> M3(2)

■ J2: M1(1) -> M3(1)

■ J3: M3(1) -> M2(1)

MACCHINA/ BUCKET	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
M1	■	■					
M2		■	■				
M3	■		■	■	■		

PC = $3 \times 5 = 15b$ busy = $8b$ -> Saturazione = $8/15 = 55\%$

J1: LT = $4b$, wc = $4b$

J2: LT = $5b$, wc = $2b$

J3: LT = $3b$, wc = $2b$

Vediamo ora come cambierebbe lo scheduling se partissi dal job2. Agli occhi del cliente la prospettiva cambia in quanto il job 1 aumenta il lead time e quindi anche la MCE.

MACCHINA/ BUCKET	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
M1	■	■					
M2		■	■				
M3	■	■		■	■		

Saturazione = $8/3 \times 5 = 55\%$ (in questo caso la saturazione rimane invariata)

J1: LT = $5b$, wc = 4

J2: LT = $2b$, wc = 2

J3: LT = $2b$, wc = 2

Conclusioni

- l'ordine con cui consideri i job è importante nella schedulazione
- ho due diversi punti di vista:
 - gestore impianto -> saturazione e remunerazione capitale investito
 - cliente -> LT

DATI RICHIESTI

- ordini di produzione (what, how much, for when)
- bill of materials
- ciclo di produzione o assemblaggio
- calendario risorse disponibili
- stato del sistema

VINCOLI

- è gerarchica
- le risorse disponibili sono perfettamente note
- tipicamente c'è una risorsa critica (di solito il macchinario)
- i job devono essere perfettamente definiti dal punto di vista tecnico (no alternative routings)
- tempi di trasporto sono trascurabili
- la macchina può lavorare un job alla volta
- un job può essere lavorato da una macchina alla volta
- il costo di mantenimento a scorta è trascurabile

SIMBOLI

Utilizzeremo i seguenti simboli e variabili:

- **N**: numero di job da programmare
- **j**: indice che identifica il singolo job
- **M**: numero di macchine
- **i**: indice che identifica la singola macchina

variabili per quando il problema è stabilito:

- t_{jki} : tempo di esecuzione dell'operazione k del job j sulla macchina i
- r_j : data del possibile inizio del job j
- d_j : data di consegna concordata per il job j

variabili per quando lo scheduling è completo:

- I_j : data di inizio effettiva di lavorazione del job j
- C_j : data di completamento del job j
- SU_{ji} : tempo di setup del job j sulla macchina i

Basandosi su queste variabili è possibile definire quattro grandezze rilevanti:

1. LATENESS, esprime il concetto di ritardo considerando l'anticipo come un ritardo negativo, si indica con $L_j = C_j - d_j$
2. TARDINESS, esprime il ritardo senza considerare l'anticipo, si indica con $T_j = \max(0, L_j)$
3. FLOW TIME, tempo di attraversamento del job da inizio lavorazione a completamento, si indica con $F_j = C_j - I_j$

2. JOHNSON: ha come obiettivo la minimizzazione del makespan su un flowshop di due macchine.

Caratteristiche:

- ottimizzazione algoritmica
- flow shop con due macchine
- Minimizzare makespan = massimizzare saturazione
- Stessa sequenza sulle due macchine

L'algoritmo funziona definendo la sequenza all'inizio e alla fine e muovendosi verso l'interno:

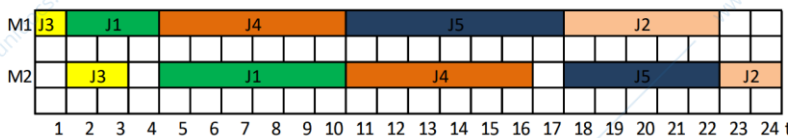
1. Trovare nelle due macchine il job con il processing time inferiore
2. Se il tempo più corto è il processing time della prima macchina ($t_{j1} < t_{j2}$), posizionare il job j nel primo posto libero della sequenza; altrimenti, se il tempo più corto è il processing time della seconda macchina ($t_{j1} > t_{j2}$), posizionare il job nell'ultimo spazio disponibile.
3. Rimuovere il job j dalla lista di job disponibili e tornare allo step 1 fino a che tutti i job sono stati posizionati

esempio

Job	1	2	3	4	5
t ₁ (on M1)	3	5	1	6	7
t ₂ (on M2)	6	2	2	6	5

Step	Available Jobs	Min t	Scheduled Jobs	Sequence
1	1 2 3 4 5	3 on M1	3	3 x x x x
2	1 2 4 5	2 on M2	2	3 x x x 2
3	1 4 5	1 on M1	1	3 1 x x 2
4	4 5	5 on M2	5	3 1 x 5 2
5	4		4	3 1 4 5 2

Sequence (3 1 4 5 2) - MAK 24



Saturazione: $1 - (5/24 \times 2)$

N.B.: multiple sequences (i.e. the shortest time t_{ji} is found for two different jobs and/or two different machines) may happen. In that case, MAKs have to be calculated and the sequence with shortest MAK is to be adopted.

REGOLE DI DISPATCHING

La filosofia delle regole di carico (dispatching) è semplicemente quella di scegliere fra i job che attendono di essere lavorati da una macchina quello da caricare sulla macchina stessa non appena essa si libera. La selezione avverrà tramite *l'identificazione dell'operazione appartenente all'ordine che assume la priorità maggiore secondo la regola adottata*. Il job da caricare sulla macchina sarà scelto basandosi sulle regole

dettate dall'*indice di priorità*, che si basa su processing time, tempo di setup, data di consegna concordata, stato del job e costi di ritardo, etc.

- **SPT - Shortest Processing Time** -> prende il job con il processo produttivo più breve
- **EDD- Earlier due date** -> prende il job con la scadenza più vicina
- **OPNDD- operation due date** -> calcola per ogni operazione una due date, dividendo il tempo (intervallo tra il momento in cui il job entra e il momento in cui deve uscire) per la due date globale di tutte le operazioni
- **S/OPN- slack operation** -> per ogni job calcola lo slack (due date - data odierna – lavoro residuo) e lo divide per il numero di operazioni rimanenti

Le regole di dispatching sono molto flessibili e facili da utilizzare, necessitano di un numero limitato di informazioni e soprattutto sono l'unica valida alternativa nel caso di job shop.

IL JIT E LA TECNICA KAMBAN

Tecniche apprese dall'occidente dopo la fine della Seconda guerra mondiale -> Giappone prostrato sia fisicamente che economicamente. Alla fine degli anni 80 il Giappone è una delle potenze più emergenti al mondo. Cosa gli ha permesso di risollevarsi così tanto?

1. **Rapporto banche imprese** -> vicinanza degli istituti di credito alle imprese (in occidente no) -> più facile accesso al capitale di rischio -> aziende mediamente più forti
2. **Rapporto imprese lavoratori** -> sfere del lavoro e della famiglia si intersecano. Rapporto impresa lavoratore molto profondo, impresa si occupa a 360 gradi dei lavoratori (assicurazioni, casa, macchine, asilo etc.), lavoratori molto raramente cambiano lavoro, etica del lavoro molto forte + paura di essere licenziati e di "perdere tutto".
3. **Tecniche di gestione** -> basate sul principio giapponese del Kaizen, "miglioramento". Quattro direzioni principali:
 - *qualità*: zero difetti
 - *gestione produttiva totale*
 - *design control*
 - *JIT*: just in time, applicazione del principio del Kaizen al rapporto cliente-fornitore (obiettivo: zero scorte, ritenute uno spreco)

L'obiettivo è la ricerca di quello che è definito *valore* dal punto di vista del cliente identificando quale fase del processo crea valore e quale solo spreco e intervenendo per l'*eliminazione degli sprechi* e dando in questo modo fluidità ai processi liberando risorse da reinvestire in attività che creino valore. Sintetizzando fare di più e meglio con meno risorse.

KANBAN

Kanban è il termine giapponese che significa *cartellino* o *biglietto* e con esso vengono indicate le schede con cui si realizza il controllo della produzione. È una delle quattro direzioni verso cui il miglioramento (kaizen) punta. Secondo tale approccio **ogni componente è movimentato in contenitori di dimensioni standard ai quali è associato un cartellino** che riporta informazioni di diverso tipo, quali, per esempio, il codice di identificazione del pezzo e la quantità di pezzi raccolti nel contenitore.

Il **layout del kanban** è estremamente importante, letteralmente come detto prima il suo significato è etichetta, su cui sono riportate le informazioni più varie. Nello stesso modo in cui una stessa banconota è usata più volte per comprare beni diversi da persone diverse, lo stesso kanban può essere usato svariate volte per attivare la produzione dello stesso prodotto dallo stesso workcenter.

Noi studieremo il kanban a due cartellini:

- **kanban di produzione:** viene impiegato alla stazione in cui si realizza la produzione di un particolare codice e specifica la quantità da produrre.
- **kanban di prelievo:** serve per far risalire il consumo tra le varie fasi di lavorazione ed è quindi usato nel reparto utilizzatore di un certo pezzo e riporta il valore della quantità da ritirare dal magazzino in uscita dalla stazione a monte.

Il metodo kanban è utile per ridurre e portare a zero il livello delle scorte: infatti, è una **tecnica pull** (innescata dal fabbisogno a valle) che permette la gestione della produzione attraverso semplici regole e permette alla produzione di auto regolarsi quando incontra dei piccoli eventi esterni.

La produzione kanban può essere rappresentata a punti, partendo dal consumo a valle:

1. In accordo con la natura pull dell'approccio kanban, il rifornimento è legato dal consumo a valle. Dall'area clienti un contenitore vuoto con il corrispondente kanban di trasporto segnato è trasportato all'area di stoccaggio per il rifornimento
2. Nell'area di stoccaggio l'incaricato provvede a prelevare un contenitore pieno, staccando da quest'ultimo il kanban di produzione e sostituendolo con quello di trasporto (associato al contenitore vuoto), dopo averne controllato la coerenza
3. Il kanban di produzione viene depositato in una cassetta di raccolta e il contenitore vuoto viene lasciato in un'area apposita
4. Il contenitore pieno viene portato al reparto a valle
5. I kanban di produzione che si accumulano nella cassetta di raccolta vengono presi in certi istanti prefissati, posti su una tabella nel reparto di produzione secondo lo stesso ordine con cui sono stati staccati dai contenitori e costituiscono gli ordini di produzione per il reparto a monte
6. Una volta che quest'ultimo ha completato le parti da lavorare relative a un kanban di produzione, queste vengono messe in uno dei contenitori vuoti e dopo che a questo è stato apposto un kanban di produzione viene riportato nell'area di stoccaggio

Quando la produzione è in grado di produrre più di un prodotto accade un problema: in che modo la produzione dà priorità ai vari kanban selezionando il successivo lotto da produrre? Per risolvere, invece della cassetta di raccolta, dovremo utilizzare la **tabella kanban**.

Per dare una giusta priorità ai kanban la tabella è divisa in tre colori:

- **Verde:** area di inattività e pace -> Non produrre nulla
- **Bianco:** area di pianificazione -> produrre per minimizzare i setup
- **Rosso:** area di urgenza e fretta -> produci più veloce che puoi per evitare lo stockout a valle

Apparirà chiaro che, in un'organizzazione di questo tipo ad ogni contenitore è sempre associato un cartellino di prelievo oppure di produzione, per cui ogni componente è costantemente tenuto sotto controllo e il risultato è la produzione dei pezzi richiesti, nella quantità consumata, con lead time brevi come vuole la logica JIT.

Nel caso in cui il reparto debba produrre *codici diversi*, la priorità con cui eseguire i diversi codici è data dalla posizione di urgenza sulla tabella. L'operatore dovrà produrre quei codici i cui cartellini occupano le posizioni di maggiore urgenza rispetto a tutti gli altri codici. Sarà necessario effettuare un numero elevato di attrezzaggi per periodo in modo da soddisfare le esigenze dei reparti a valle. Verranno usati solo contenitori standard e verranno riempiti con la giusta quantità di prodotto.

Qual è il problema del kamban? Il kamban introduce il concetto di miglioramento sottraendo kamban dalla zona verde (guerra agli sprechi)

Product "A"	Product "B"	Product "C"